PENGARUH RASIO KITOSAN: PVA TERHADAP KARAKTERISTIK MEMBRAN KITOSAN TERMODIFIKASI SEBAGAI KANDIDAT *SLOW-RELEASE FERTILIZER* (SRF) PUPUK NPK

THE EFFECT OF THE CHITOSAN: PVA RATIO ON THE CHARACTERISTICS OF THERMALLY MODIFIED CHITOSAN MEMBRANE AS CANDIDATES FOR SLOW-RELEASE FERTILIZER (SRF) NPK FERTILIZER

Dinda Putri Aliyanti 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. *Penggunaan pupuk NPK konvensional dalam sektor pertanian memiliki efisiensi pemanfaatan unsur hara yang relatif rendah akibat kehilangan melalui proses volatilisasi, nitrifikasi, dan leaching. Salah satu Upaya untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah pengembangan pupuk NPK dengan pelepasan unsur hara secara terkontrol atau Slow-Release Fertilizer. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi penambahan Polivinil Alkohol (PVA) terhadap karakteristik membran SRF. Membran disintesis menggunakan metode solvent casting dengan larutan membran dituangkan ke dalam cawan petri dan pelarut nya diuapkan sehingga dihasilkan membran SRF kering. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin banyak komposisi PVA yang ditambahkan kedalam matriks SRF memiliki massa di rentang 0,0573 – 0,0602 gram. Derajat swelling yang dihasilkan dari keempat variasi direntang 106,19 % - 134,09%. Persen porositas yang dihasilkan memiliki rentang 0,20% – 0,40%. Hal tersebut menujukkan bahwa penambahan PVA berpengaruh terhadap karakteristik fisik membran.*

***Kata kunci**: SRF, Membran, Kitosan, PVA.*

Abstract. *The use of conventional NPK fertilizers in the agricultural sector results in relatively low nutrient utilization efficiency due to losses through volatilization, nitrification, and leaching. One effort to address this issue is the development of NPK fertilizers with controlled nutrient release, or slow-release fertilizers. This study aims to determine the effect of varying Polyvinyl Alcohol (PVA) content on the characteristics of SRF membranes. The membranes were synthesized using the solvent casting method, in which the membrane solution was poured into petri dishes and the solvent was evaporated to produce dry SRF membranes. The results showed that as the PVA content added to the SRF matrix increased, the mass ranged from 0.0573 to 0.0602 grams. The degree of swelling produced by the four variations ranged from 106.19% to 134.09%. The resulting porosity ranged from 0.20% to 0.40%. This indicates that the addition of PVA affects the physical characteristics of the membrane.*

Key words: SRF, Membrane, Chitosan, PVA.

PENDAHULUAN

Pupuk NPK merupakan pupuk yang memiliki kandung unsur hara berupa 16% unsur Nitrogen (N), 16% unsur Fosfor (P) dan 16% unsur Kalium (K) [1]. Penambahan unsur hara N, P, dan K yang terkandung dalam pupuk NPK terbukti berpengaruh positif terhadap pertumbuhan tanaman [2]. Permasalahan yang sering muncul adalah rendahnya efisiensi penyerapan pupuk oleh tanaman. Penelitian Mahmud *et al.,* (2021) [3] menyatakan bahwa tanaman kehilangan nutrisi pupuk diakibatkan

© 2026 Unesa Journal of Chemistry (UJC). This work is licensed under CC 4.0

oleh volatilisasi, nitrifikasi, dan *leaching*. Efisiensi penggunaan nutrisi dari unsur hara makro seperti N, P, dan K masing-masing mencapai 30-35%, 18-20%, dan 35-40% [4]. Hal ini berarti sekitar 40-70% N, 80-90% P, dan 50-70% K dari pupuk yang digunakan hilang ke lingkungan dan tidak diserap oleh tanaman. Untuk mengatasi tantangan tersebut maka dapat dikembangkan pupuk NPK dengan teknologi pelepasan kandungan hara secara terkendali atau *slow-release fertilizer*.

Metode *slow-release fertilizer* bertujuan meminimalisir kehilangan unsur hara, karena memastikan ketersediaan nutrisi bagi tanaman secara bertahap. [5]. Dalam penelitian Eddarai *et al*., 2022 [6] SRF NPK berbasis membran mampu memperlambat pelepasan unsur hara melalui mekanisme difusi, dimana rongga, porositas dan ketebalan lapisan membran berpengaruh pada pelepasan unsur hara keluar. Membran memiliki luas penampang yang luas sehingga mudah dijangkau oleh akar tanaman [7].

Pada penelitian ini digunakan polimer alami sebagai bahan membran. Penggunaan polimer alami memiliki keunggulan karena sifatnya yang *biodegradable* sehingga tidak menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan [8]. Kitosan sebagai matriks SRF bersifat *biodegradable*, serta mampu membentuk membran yang mempertahankan kekuatan mekanik dan stabilitasnya [9]. Dalam penelitian Gumeral *et al*., (2020) [10] penggunaan kitosan tanpa modifikasi sebagai bahan pelapis pada pupuk NPK masih memiliki kelemahan, yaitu lapisan kurang tahan terhadap air dan mudah rapuh, sehingga efektivitas pengendalian pelepasan unsur hara belum maksimal. Salah satu bahan yang dapat dikombinasikan dengan kitosan yaitu PVA (*polyvinyl alcohol*).

PVA memiliki sifat hidrofilik dengan adanya gugus OH^-, sehingga PVA dapat meningkatkan daya serap air pada membran [11]. Ketika kombinasi antara kitosan dan PVA tersebut dicampur maka ikatan hidrogen akan terbentuk diantara gugus fungsionalnya yaitu –(NH_2) dan (–OH) di kedua polimer, sehingga menghasilkan peningkatan sifat mekanik matriks. Menurut Ambarwati *et al.* (2024) [12] hidrofilitas dari membran kitosan-PVA memiliki pengaruh pada berkurangnya stabilitas membran yang dihasilkan sehingga diperlukan material untuk meningkatkan kestabilan tersebut. Salah satu material yang dapat digunakan untuk memperkuat membran secara mekanik dengan meningkatkan kestabilan dan mengendalikan hidrofilitas yaitu kalsium karbonat ($CaCO_3$) [13].

Pada penelitian Stanley & Mahanty (2020) [14] dimana menjelaskan bahwa $CaCO_3$ pada permukaan hidrogel PVA-alginat membentuk lapisan fisik yang mengurangi porositas permukaan selain itu lapisan $CaCO_3$ berinteraksi dengan ion pupuk, sehingga memperlambat pelepasan pupuk dengan penahan fisik atau adsorpsi ringan pada permukaan karbonat. Hal tersebut dapat terjadi karena $CaCO_3$ akan terionisasi menjadi ion Ca^{2+} pada keadaan asam, kemudian ion Ca^{2+} akan berinteraksi dengan gugus hidroksil maupun amina pada kitosan, memperkuat struktur melalui interaksi ionik. Penelitian Comes *et al* (2024) [15] menunjukkan bahwa $CaCO_3$ merupakan bahan yang tepat digunakan pada aplikasi pertanian karena tidak beracun (*non-toxic*).

Beberapa penelitian telah melaporkan penggunaan kombinasi kitosan-PVA-$CaCO_3$ sebagai matriks pupuk *slow-release fertilizer* berbasisi urea. Namun, kajian mengenai penggunaan kombinasi tersebut pada pupuk NPK dengan variasi penambahan PVA masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mensintesis membran pupuk NPK berbasis kitosan-PVA-$CaCO_3$-NPK serta mengkaji pengaruh variasi terhadap massa, derajat *swelling*, dan porositas membran. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi sebagai dasar pengembangan pupuk *slow-release fertilizer.*

METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini akuades, asam asetat glasial 1% (v/v), kitosan 1% (w/v), PVA 1% (w/v), Kalsium Karbonat ($CaCO_3$), Pupuk NPK, NaOH 1M (Mr =40).

Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah: gelas kimia, gelas ukur, pipet tetes, pipet volume, bulb pipet, labu ukur 100 mL, labu ukur 500 mL, neraca analitik *OHAUS*, *magnetic stirrer*, oven, *Ultrasonic Bath* Elma S 60 H, spatula, batang pengaduk, cawan petri 90 mm.

Prosedur Penelitian

Pembuatan Larutan Asam Asetat Glasial 1% (v/v)

Asam asetat glasil diambil 5 mL di dalam lemari asam menggunakan pipet volume dan dilarutkan dengan akuades dalam labu ukur 500 mL hingga tanda batas.

Pembuatan larutan kitosan 1% (w/v)

Kitosan ditimbang sebanyak 1 g dilarutkan menggunakan asam asetat 1% (v/v) sebanyak 100 mL dengan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan suhu ruang selama 24 jam hingga larut dengan sempurna.

Pembuatan Larutan PVA 1% (w/v)

PVA ditimbang sebanyak 1 g kemudian dilarutkan menggunakan akuades 100 mL dengan suhu 60 °C dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 300 rpm selama 2 jam.

Pembuatan larutan NaOH 1M

Butiran NaOH ditimbang sebanyak 4 g kemudian dilarutkan dengan akuades secukupnya dan diaduk hingga homogen. Kemudian larutan NaOH dimasukkan ke labu ukur 100 mL dan ditambahkan akuades hingga tanda batas.

Pembuatan Larutan NPK SRF

Membran dibuat dengan mencampurkan larutan PVA 1% dan larutan kitosan 1% diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dalam suhu 60 °C dengan kecepatan 300 rpm selama 24 jam. Kemudian larutan disonikasi selama 20 menit dengan suhu 60 °C dan mode *sweep.* Setelah homogen larutan kitosan/PVA diambil 100 mL dan dicampurkan 0,01 g $CaCO_3$. Dihomogenkan dengan *magnetic stirrer* selama 2 jam dengan suhu 30 °C. Campuran larutan tersebut yang sudah homogen disonikasi selama 20 menit dengan suhu 30 °C. Langkah terakhir ditambahkan pupuk NPK sebanyak 2000 ppm, dan di homogenkan dengan *magnetic stirrer* selama 30 menit dengan suhu 30 °C. Dihasilkan larutan membran kitosan-PVA-$CaCO_3$-NPK.

Sintesis NPK SRF

Sebanyak 10 mL larutan membran (kitosan-PVA-$CaCO_3$-NPK) dituang dalam cawan petri dan dioven dengan suhu 65 °C selama 24 jam hingga membran kering. Membran yang telah kering dan terbentuk kemudian direndam menggunakan larutan NaOH 1M hingga membran dapat dilepaskan dari cawan petri, hal tersebut dilakukan untuk mengubah gugus amina terprotonasi menjadi bentuk amina bebas sehingga membran menjadi lebih stabil. Kemudian membran dibilas dengan akuades hingga pH netral untuk menghilangkan sisa NaOH. Proses menetralkan membran diukur menggunakan pH meter, dan dihentikan ketika pH air bilasan mencapai kondisi netral. Berikut tabel komposisi dari NPK SRF.

Tabel 1 Komposisi NPK SRF

Bahan	Formulasi			
	P_0	P_1	P_2	P_3
NPK (ppm)	2000	2000	2000	2000
Kitosan 1% (mL)	100	100	50	50
PVA 1% (mL)	0	50	50	100
$CaCO_3$ (g)	0,01	0,01	0,01	0,01

Karakterisasi Membran

Uji Massa Membran

Membran NPK SRF ditimbang menggunakan neraca analitik *OHAUS* dengan menimbang setiap sampel sebanyak 3 kali pengulangan untuk menentukan massa dari masing-masing variasi membran NPK SRF.

Uji *Swelling*

Membran dipotong 1x1 cm kemudian ditimbang dengan neraca analitik sebagai berat kering (W_k), selanjutnya membran direndam dengan 10 mL akuades selama 6 jam pada suhu ruang. Kemudian membran yang telah direndam dikeringkan dengan tissue hingga lembab dan ditimbang menggunakan neraca analitik sebagai berat basah (W_b). Derajat *swelling* membran dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Derajat } Swelling\ (\%) = \frac{Wb}{Wk} \text{ x } 100\% \quad ....(1)$$

Keterangan:
W_b: Berat basah
W_k: Berat kering

Uji Porositas

Membran direndam selama 6 jam, kemudian ditimbang sebagai berat basah. Setelahnya membran dikeringkan dengan oven pada suhu 100 °C dan ditimbang sebagai berat

kering. Porositas membran dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\% \text{ Porositas} = \frac{wb-wk}{\rho \text{ x a x } l} \text{ x } 100\% \quad ....(2)$$

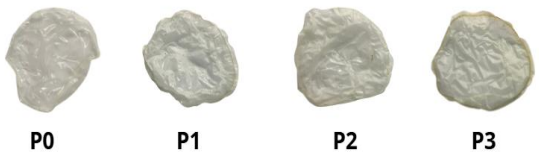
Keterangan:

ε : persen porositas
Ws : berat kering
Wd : berat kering
ρ : berat jenis air
a : luas permukaan
l : ketebalan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis NPK SRF

Membran NPK SRF telah berhasil dibuat melalui proses sintesis menggunakan metode *solvent casting* dengan pencampuran larutan kitosan-PVA-$CaCO_3$-NPK dengan komposisi yang tertera pada Tabel 1. Metode *solvent casting* adalah pembuatan membran melalui proses pencampuran larutan hingga homogen, dan kemudian larutan tersebut dituang kedalam cetakan dan dikeringkan dengan tujuan untuk menguapkan pelarutnya sehingga dihasilkan lapisan tipis berupa membran padat [16]. Pada penelitian ini dihasilkan 4 variasi membran berupa lapisan tipis yang berbentuk bulat berwarna kekuningan yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Membran NPK SRF

Berdasarkan Gambar 1 telah dihasilkan membran dengan variasi perbandingan kitosan:PVA (v/v) yang digunakan dalam penelitian ini, dengan perbandingan 100:0 (P0), 100:50 (P1), 50:50 (P2), 50:100 (P3) sebagai bentuk NPK SRF dengan formulasi yang sesuai pada Tabel 1.

Uji Massa Membran

Uji massa membran bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi volume PVA terhadap massa membran NPK SRF yang dihasilkan, selain itu hasil uji massa membran digunakan sebagai parameter dasar untuk uji *swelling* dan uji porositas. Hasil Uji massa membran disajikan pada Tabel 2.

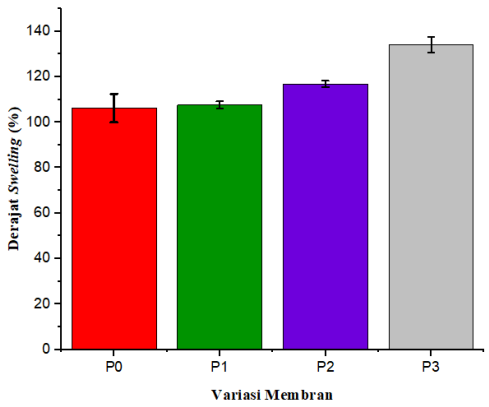
Tabel 2 Hasil Uji Massa Membran

No	Variasi	Massa Membran
1	P0	0,0605 ± 0,0000
2	P1	0,0591 ± 0,0000
3	P2	0,0587 ± 0,0005
4	P3	0,0573 ± 0,0015

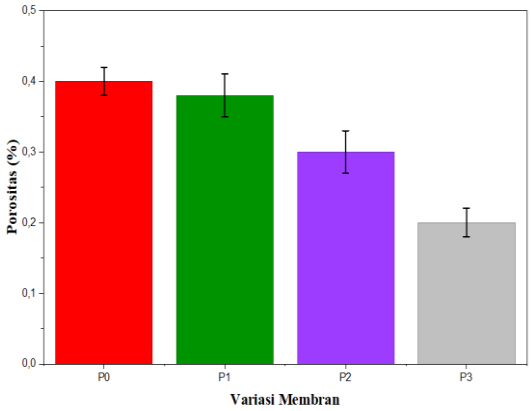
Berdasarkan Tabel 2 tersebut menunjukkan bahwa variasi P0 berupa kitosan murni memiliki massa membran yang paling berat yaitu 0,0605 g, sedangkan variasi membran dengan variasi P3 memiliki massa membran yang paling sedikit yaitu 0,0573 g. Hal tersebut dapat terjadi akibat interaksi air dalam matriks polimer. Kitosan memiliki gugus hidroksil (-OH) dan amina (-NH_2) yang mampu membentuk ikatan hidrogen dengan molekul air dan menghasilkan *bound water* [17]. Penelitian M. Gun'ko *et al.,* (2017) [18] menyatakan bahwa kitosan memiliki kemampuan mengikat sejumlah molekul air dalam struktur polimernya, sehingga sebagian air yang terikat dalam matriks polimer tersebut tidak mudah menguap selama proses pengeringan, akibatnya mempengaruhi massa akhir membran. Pada variasi penambahan PVA, interaksi antara gugus kitosan dan PVA lebih dominan dengan mengurangi jumlah gugus aktif yang dapat berinteraksi dengan air [19], sehingga air lebih mudah dilepaskan selama proses pengeringan yang menyebabkan massa membran lebih rendah dibandingkan kitosan murni.

Uji *Swelling*

Uji *Swelling* pada membran bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi PVA terhadap derajat *swelling*. Derajat *swelling* merupakan nilai untuk mengukur kemampuan membran dalam menyerap air sehingga membran mengalami pembengkakan dalam sistem larutan (Annisa *et al.,* 2024) [20]. Hasil Uji *swelling* membran disajikan pada Gambar 2 dan Tabel 3.



Gambar 2 Hasil Uji Swelling



Gambar 3. Hasil Uji Porositas

Tabel 3 Hasil Uji *Swelling*

No	Variasi	Derajat *Swelling* (%)
1.	P0	106,19 ± 6,27
2.	P1	107,55 ± 1,58
3.	P2	116,88 ± 1,31
4.	P3	134,09 ± 3,40

Hasil data pada Gambar 2 dan Tabel 3 tersebut sejalan dengan penelitian Zatalini *et al*., (2023) [21] dimana menyatakan bahwa penambahan PVA dalam matriks kitosan meningkatkan kemampuan penyerapan air akibat meningkatnya jumlah gugus hidroksil (-OH). Selain itu penambahan PVA dapat menghasilkan struktur yang lebih amorf dan kondisi tersebut dapat mempermudah difusi air kedalam matriks polimer, sehingga meningkatkan derajat *swelling* [22]. Pada penelitian ini variasi P3 menunjukkan *swelling* paling tinggi sebesar 134,09% dan variasi P0 berupa kitosan murni paling rendah sebesar 106,19%

Uji Porositas

Uji porositas bertujuan untuk mengetahui jumlah pori yang ada pada NPK SRF. Pori tersebut berfungsi sebagai media air untuk berdifusi ke dalam membran. Hasil Uji porositas disajikan pada Gambar 3 dan Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Uji Porositas

No	Variasi	Porositas (%)
1.	P0	0,40 ± 0,02
2.	P1	0,38 ± 0,03
3.	P2	0,30 ± 0,03
4.	P3	0,20 ± 0,02

Hasil data pada Gambar 3 dan Tabel 4 menunjukkan adanya penurunan nilai porositas seiring dengan meningkatnya penambahan PVA dalam matriks kitosan. Hal tersebut sejalan dengan penelitian Rahman *et al.,* (2024) [23] yang menyatakan bahwa PVA berperan sebagai pengisi dalam matriks antar rantai kitosan, sehingga membentuk struktur yang lebih rapat. Selain itu nilai porositas pada kitosan murni lebih tinggi dapat disebabkan karena struktur rantai pada kitosan yang kurang rapat sehingga meningkatkan ruang kosong dalam matriks membran. Pada penelitian ini variasi P0 berupa kitosan murni menunjukkan porositas paling tinggi sebesar 0,40% dan variasi P3 paling rendah sebesar 0,20%.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa variasi komposisi kitosan dan PVA mempengaruhi karakteristik fisik membran kitosan termodifikasi yang mengandung pupuk NPK. Penambahan PVA cenderung meningkatkan derajat *swelling* dan menurunkan porositas dan massa membran.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa komposisi PVA berpengaruh terhadap sifat fisik awal membran. Namun, uji pelepasan unsur hara N, P, dan K serta uji mekanik masih diperlukan untuk membuktikan kelayakan membran sebagai sistem *slow-release fertilizer.*

DAFTAR PUSTAKA

[1] A. E. Said, A. S. Nasution, and Saputra, "Pemberian solid dan pupuk NPK Mutiara (16-16-16) terhadap pertumbuhan bibit kelapa sawit (Elaeis guineensis Jacq.) di main nursery," *J. Agrofolium*, vol. 5, no. 1, pp. 409–415, 2025.

[2] R. A. Hardiyanti, H. Hamzah, and A. Andriani, "Pengaruh pemberian pupuk NPK terhadap pertambahan bibit merbau darat (Intsia palembanica) di pembibitan," *J. Silva Tropika*, vol. 6, no. 1, pp. 15–22, 2022.

[3] K. Mahmud, D. Panday, A. Mergoum, and A. Missaoui, "Nitrogen losses and potential mitigation strategies for a sustainable agroecosystem," *Sustainability*, vol. 13, no. 4, p. 2400, 2021, doi: 10.3390/su13042400.

[4] H. Guo, J. C. White, Z. Wang, and B. Xing, "Nano-enabled fertilizers to control the release and use efficiency of nutrients," *Curr. Opin. Environ. Sci. Health*, vol. 6, pp. 77–83, 2018, doi: 10.1016/j.coesh.2018.07.009.

[5] Idaryani and A. Wahid, "Efektivitas pupuk majemuk SRF NPK 20-6-10 terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman jagung," *J. Agrisistem*, vol. 15, no. 2, pp. 50–58, 2019.

[6] E. M. Eddarai, M. El Mouzahim, R. Boussen, A. Bellaouchou, A. Guenbour, and A. Zarrouk, "Chitosan-kaolinite clay composite as durable coating material for slow release NPK fertilizer," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 195, pp. 424–432, 2022, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2021.12.055.

[7] A. R. Wijayanti and S. E. Cahyaningrum, "Effect of urea variation concentration on slow release fertilizer (SRF) based chitosan/NaTPP/calcium," *J. Pijar MIPA*, vol. 19, no. 5, pp. 893–897, 2024.

[8] C. Dingley, P. Cass, and B. Adhikari, "Application of superabsorbent natural polymers in agriculture," *Polym. Renew. Resour.*, vol. 15, no. 2, pp. 210–255, 2024, doi: 10.1177/20412479231226166.

[9] T. A. Natsir, A. M. Iknawati, I. D. Wanadri, D. Siswanta, R. A. Lusiana, and S. E. Cahyaningrum, "Environmentally friendly membrane based on chitosan, citric acid, and calcium for slow-release fertilizer," *Heliyon*, vol. 11, no. 1, Art. no. e41378, 2024.

[10] M. D. Gumelar, M. Hamzah, A. S. Hidayat, D. A. Saputra, and Idvan, "Utilization of chitosan as coating material in making NPK slow-release fertilizer," *Macromol. Symp.*, vol. 391, no. 1, Art. no. 1900188, 2020, doi: 10.1002/masy.201900188.

[11] M. Bercea, "Recent advances in poly (vinyl alcohol)-based hydrogels," *Polymers*, vol. 16, no. 14, p. 2021, Jul. 2024, doi: 10.3390/polym16142021.

[12] S. 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.

[13] Y. Q. Niu, J. H. Liu, C. Aymonier, S. Fermani, D. Kralj, G. Falini, and C. H. Zhou, "Calcium carbonate: Controlled synthesis, surface functionalization, and nanostructured materials," *Chem. Soc. Rev.*, vol. 51, no. 18, pp. 7883–7943, 2022.

[14] N. Stanley and B. Mahanty, "Preparation and characterization of biogenic $CaCO_3$-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.

[15] J. Comes, E. Islamovic, C. Lizandara-Pueyo, and J. Seto, "Improvements in the utilization of calcium carbonate in promoting sustainability and environmental health," *Frontiers in*

Chemistry, vol. 12, Art. no. 1472284, 2024.

[16] I. Kong, K. Y. Tshai, and M. E. Hoque, "Manufacturing of natural fibre-reinforced polymer composites by solvent casting method," in *Manufacturing of Natural Fibre Reinforced Polymer Composites*, M. S. Salit, M. Jawaid, N. B. Yusoff, and M. E. Hoque, Eds. Cham, Switzerland: Springer, 2015, pp. 331–349, doi: 10.1007/978-3-319-07944-8_16.

[17] F. Ahmadi, Z. Oveisi, S. Mohammadi Samani, and Z. Amoozgar, "Chitosan based hydrogels: Characteristics and pharmaceutical applications," *Res. Pharm. Sci.*, vol. 10, no. 1, pp. 1–16, 2015.

[18] V. M. Gun'ko, I. N. Savina, and S. V. Mikhalovsky, "Properties of water bound in hydrogels," *Gels*, vol. 3, no. 4, Art. no. 37, 2017, doi: 10.3390/gels3040037.

[19] R. A. Olvera Bernal, R. O. Olekhnovich, and M. V. Uspenskaya, "Chitosan/PVA nanofibers as potential material for the development of soft actuators," *Polymers*, vol. 15, no. 9, p. 2037, 2023, doi: 10.3390/polym15092037.

[20] R. N. Annisa, R. A. Lusiana, G. Gunawan, and H. Muhtar, "Optimization of chitosan-carboxymethyl chitosan membrane modification with PVA to increase creatinine and urea permeation efficiency," *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, vol. 27, no. 4, pp. 189–196, Apr. 2024, doi: 10.14710/jksa.27.4.189-196.

[21] D. F. Zatalini, E. Hendradi, P. 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.

[22] A. H. Mondal and N. Sultana, "Impact of social media addiction on mental health among university students," *Journal of Psychology and Behavioral Science*, vol. 10, no. 2, pp. 45–56, 2022.

[23] M. M. Rahman *et al*., "An experimental and finite element analysis (FEA) approach to investigate effect of cracks on a rotor bearing system," *Materials Today: Proceedings*, vol. 98, pp. 118–126, 2023.