

PEMANFAATAN BENTONIT TERMODIFIKASI BKC SEBAGAI CARRIER UNSUR KALIUM DALAM FORMULASI PUPUK LEPAS LAMBAT

P. Suarya* dan I G. A. G. Bawa

Program Studi Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Udayana, Jimbaran, Bali, Indonesia

*Email: putusuarya@unud.ac.id

Article Received on: 25th December 2025

Revised on: 4th January 2026

Accepted on: 30th January 2026

ABSTRAK

Pelepasan pupuk kalium yang kurang efisien diakibatkan karena kalium yang mudah larut dalam air dan dapat dengan cepat tercuci dari zona perakaran terutama pada tanah berpasir. Pelapisan pupuk kalium dengan lempung dilakukan untuk menghasilkan produk pupuk dengan sifat pelepasan yang lebih lambat, sehingga akan meningkatkan efektivitas dan efisiensi penggunaan pupuk kalium serta mengurangi pencemaran lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari proses pelapisan (*coating*) pupuk kalium dengan lempung termodifikasi sebagai pupuk lepas lambat. Modifikasi lempung dilakukan dengan aktivasi lempung dengan asam sulfat 1,5 M dan interkalasi dengan Benzal Konium Klorida (BKC). Sintesis pupuk *slow-release fertilizer* (SRF) menggunakan metode pencampuran dengan mengelusikan senyawa kalium ke dalam 20 g bentonit dengan memvariasikan massa kalium sebesar 10, 20, 30, 40, dan 50 g. Hasil penelitian menunjukkan bentonit yang dimodifikasi memiliki karakter yang lebih baik dibanding bentonit alam yakni luas permukaan meningkat dari 25,55 m²/g menjadi 48,70 m²/g dan basal spacing meningkat dari 12,56 Å menjadi 14,30 Å. Kemampuan mengikat unsur kalium meningkat dari 13,34 % menjadi 44,25 %.

Kata kunci: Pupuk, pupuk kalium, bentonit termodifikasi, pupuk lepas lambat.

ABSTRACT

The inefficient release of potassium fertilizer is caused by potassium which is easily soluble in water and can be quickly leached from the root zone, especially in sandy soil. Coating potassium fertilizer with clay is done to produce fertilizer products with slower release properties, thereby increasing the effectiveness and efficiency of potassium fertilizer use and reducing environmental pollution. This study aims to study the process of coating potassium fertilizer with modified clay as a slow-release fertilizer. Clay modification is carried out by activating the clay with 1.5 M sulfuric acid and intercalating with Benzalkonium Chloride (BKC). The synthesis of slow-release fertilizer (SRF) uses a mixing method by eluting potassium compounds into 20 g of bentonite by varying the mass of potassium by 10, 20, 30, 40, and 50 g. The results of the study showed that the modified bentonite had better characteristics than natural bentonite, namely the surface area increased from 25.55 m²/g to 48.70 m²/g and basal spacing increased from 12.56 Å to 14.30 Å. The ability to bind potassium elements increased from 13.34% to 44.25%.

Keywords: Fertilizer, potassium fertilizer, modified clay, slow-release fertilizer.

PENDAHULUAN

Fungsi kalium bagi tanaman yaitu mengaktifkan kerja beberapa enzim yang berperan untuk mempercepat reaksi-reaksi metabolisme. Kalium berperan penting dalam proses fotosintesis pada tanaman. Kalium dapat memacu translokasi asimilat dari daun ke organ tanaman lainnya, terutama ke organ tanaman yang menyimpan cadangan makanan. Kalium juga membantu memelihara potensial osmotik sel dan berperan dalam proses pengambilan air oleh tanaman (Putri *et al.*, 2021).

Kebutuhan akan pupuk yang sangat besar bagi tanaman agar dapat berproduksi dan tumbuh dengan baik bila ditambahkan secara tepat sesuai kebutuhan yang dapat diserap oleh tanaman. Dengan adanya fenomena pemakain pupuk secara berlebihan yang menyisakan pupuk yang tidak dapat diserap oleh tumbuhan sehingga mengakibatkan pencemaran lingkungan serta merusak kondisi tanah. Upaya untuk mengoptimalkan penggunaan pupuk agar kandungan yang terdapat dalam pupuk dapat diserap sesuai kebutuhan tanaman. Upaya yang dilakukan adalah dengan membuat sebuah sebuah pupuk yang memiliki keunggulan dalam pelepasan unsur yang

terkandung dalam pupuk dilepaskan secara bertahap yang sering disebut pupuk *slow-release fertilizer* (SRF). SRF merupakan modifikasi sebuah pupuk yang dilapisi dengan sebuah bahan pelapis yang dapat membentuk senyawa polimer yang berguna bagi tanaman. Pupuk SRF memiliki intraksi molekular yang menjadi prinsip utama dari penggunaan pupuk SRF karena adanya intraksi molekuler dapat menghambat pelepasan zat hara dalam pupuk ke lingkungan. Pembuatan pupuk SRF dapat dilakukan dengan cara, memperbesar ukuran butiran pupuk, menambah kekerasan pada butiran pupuk dengan melapisi atau menambahkan aditif terhadap butiran dengan bahan yang dapat melindungi atau mempertahankan keberadaan unsur-unsur hara (Nurulisia *et al.*, 2025).

Menurut Indriani *et al.* (2024), penggunaan pupuk SRF memiliki keuntungan dibandingkan penggunaan pupuk pada umumnya seperti, ketersediaan pupuk di dalam tanah akan bertahan dalam waktu yang lama, dapat mengatasi masalah penguapan unsur hara terutama unsur K, kehilangan karena terlarut dan terbawa air hujan, serta infiltrasi terbakarnya akar serabut karena over dosis. Selain itu, pupuk SRF dapat memberikan efisiensi dari penggunaan pupuk mencapai 70% unsur K yang dapat diserap oleh tanaman dari pupuk, sedangkan pupuk pada umumnya unsur K hanya mampu diserap oleh tanaman hanya sebanyak 50-60%.

Penelitian mengenai pupuk *slow-release fertilizer* (SRF) telah banyak dilakukan di berbagai negara. Kareem *et al* (2023) menggunakan metil propil hidroksi selulosan polivinil alkohol dan gliserol untuk mengikat urea. Khan dan Madjid (2025) memodifikasi zeolit menggunakan surfaktan MDZ dalam sintesis pupuk SRF untuk mengontrol pelepasan pupuk. Mika Sipponen *et al* (2017) menggunakan *calcium chelation of lignin* dari *pulping spent liquor* untuk membuat pupuk SRF urea yang tahan air. Beberapa yang dilakukan di Indonesia berfokus pada pemanfaatan bahan-bahan yang bersifat absorben seperti arang aktif, zeolit, dan bentonite sebagai campuran dalam pembuatan pupuk SRF.

Dalam modifikasi pupuk SRF dapat digunakan senyawa pelapis berupa lempung. Lempung terdiri atas filosilikat yang memiliki lembaran yang berstruktur terrahedral pada ikatan silisium oksigen dan struktur oktahedral pada ikatan aluminium-oksigen- hidroksida atau yang sering dikenal sebagai montmorilonit (bentonit). Dalam struktur lempung memiliki ruang diantara lapisan-lapisan silikat yang dapat ditingkatkan ketersediaan ruang tersebut dengan melakukan delaminasi partikel yang terdapat dalam lempung sehingga dihasilkan porositas-porositas baru pada ruangan tersebut sehingga dapat

digunakan sebagai pengikat molekul-molekul seperti molekul adsorbat. Lempung memiliki sifat, diantaranya permeabilitas rendah, kenaikan air kapiler tinggi, bersifat sangat kohesif, kadar kembang susut (*swelling*) yang tinggi, dan proses konsolidasi lambat. Selain itu, lempung memiliki nilai KTK yang cukup tinggi, sehingga dapat menukar kation anorganik yang berada pada *gallery space* seperti Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , dan Mg^{2+} dengan kation-kation tertentu sehingga menjadi lebih homogen (Sarkar dan Dana, 2022).

MATERI DAN METODE

Bahan

Bahan-bahan yang diperlukan berupa: Na-bentonit, KNO_3 , KCl , BaCl_2 , H_2SO_4 dan AgNO_3 .

Peralatan

Pada penelitian ini alat-alat yang digunakan berupa: Gelas beker, Gelas ukur, Magnet stirrer, Oven, Ayakan 75 dan 125 mesh, Mortar, Desikator, Neraca analitik, Seperangkat alat titrasi, XRD, Spektroskopi dan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

Cara Kerja

Modifikasi Bentonit

Preparasi proses interkalasi bentonit diawali dengan membersihkan bentonit. bentonit yang sudah bersih diayak dengan ayakan berukuran 100-150 μm (S_{0-0}). Sebanyak 200 g S_{0-0} dimasukkan ke dalam 1000 mL larutan H_2SO_4 1,5 M sambil diaduk dengan pengaduk magnet. Aktivasi dilakukan selama 24 jam, kemudian disaring dan dicuci dengan air panas (sampai uji negatif terhadap larutan BaCl_2), dikeringkan dalam oven pada temperatur 110-120°C, didinginkan dalam desikator sampai mendapatkan berat bentonit yang konstan. Selanjutnya bentonit tersebut digerus dan diayak menggunakan ayakan ukuran 100-150 μm , diberi kode (S_{a-0}). Karakterisasi bentonit termodifikasi dilakukan dengan mengukur luas permukaan menggunakan metode titrasi dan peningkatan basal spacing menggunakan XRD dibandingkan dengan lempung alam.

Sintesis Slow-Release Fertilizer (SRF) Lempung-Kalium

Proses sintesis pupuk *slow-release fertilizer* (SRF) menggunakan metode pencampuran padat-cair dengan mengeluarkan Larutan KNO_3 ke dalam bentonit yang telah dimodifikasi. Komposisi massa bentonit dibuat tetap sebanyak 20 g dan komposisi massa senyawa kalium dibuat bervariasi sebesar 10, 20, 30, 40, dan 50g.

Selanjutnya lempung dikeringkan pada suhu $\pm 100^{\circ}\text{C}$ dalam oven untuk menghilangkan kandungan airnya. kemudian diberi kode $S_{\text{SRF}10}$; $S_{\text{SRF}20}$; $S_{\text{SRF}30}$; $S_{\text{SRF}40}$; dan $S_{\text{SRF}50}$. Selanjutnya sampel $S_{\text{a}-0}$ serta $S_{\text{SRF}10}$; $S_{\text{SRF}20}$; $S_{\text{SRF}30}$; $S_{\text{SRF}40}$; dan $S_{\text{SRF}50}$ ditentukan kadar Kalium yang terikat pada bentonite dianalisis menggunakan SSA.

Uji Pelepasan Slow-Release Fertilizer (SRF) Bentonit-Kalium Hasil Sintesis

Pelepasan dilakukan dengan metode statis, pupuk SRF hasil sintesis direndam dalam akuades 1000 mL dengan variasi pH 5, 7 dan 9. kemudian, waktu pelepasan dihitung selama 24 hari. Pelepasan kalium dianalisa pada hari ke 1, 6, 12, 18, dan 24. Selanjutnya, sampel diukur konsentrasi kalium yang terlepas menggunakan Spektrofotometer Serapam Atom.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan Luas Permukaan

Kemampuan suatu adsorben dalam mengikat adsorbat sangat dipengaruhi oleh luas permukaan dari adsorben tersebut. Metode metilen biru atau metode titrasi tidak langsung mengukur jumlah metilen biru yang teradsorpsi setiap gram adsorben dapat digunakan untuk menentukan luas permukaan adsorben. Hasil penentuan luas permukaan bentonit dan bentonit termodifikasi ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai luas permukaan bentoni

No	Sampel	Luas Permukaan (m^2/g)
1	S_{0-0}	25,55
2	$S_{\text{a}-0}$	48,70

Keterangan:

S_{0-0} = bentonite

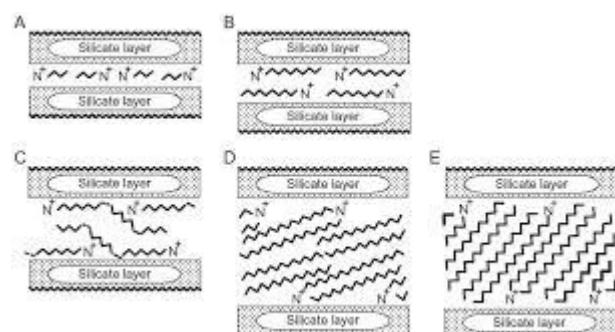
$S_{\text{a}-0}$ = bentonite termodifikasi

Data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa bentonite alam mempunyai luas permukaan yang rendah yakni $25,55 \text{ m}^2/\text{g}$. Proses modifikasi bentonite yang diawali dengan aktivasi asam membersihkan pori-pori lempung dari pengotor dan interkalasi BKC meningkatkan jarak antar lapis bentonit sehingga pori-pori akan menjadi lebih besar yang ditunjukkan dengan meningkatnya luas permukaan menjadi $48,70 \text{ m}^2/\text{g}$.

Karakterisasi Bentonit dengan XRD

Proses interkalasi lempung diawali dengan aktivasi asam menggunakan larutan H_2SO_4 1,5 M selama 24 jam untuk menghomogenkan kation pada lempung bentonit sehingga meningkatkan situs aktif terhadap permukaan lempung bentonit (Sekewael *et*

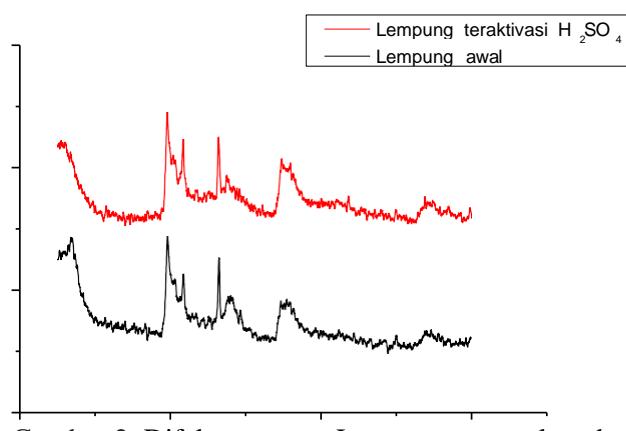
al., 2015). Lempung bentonit yang telah teraktivasi asam dilakukan proses interkalasi dengan surfaktan BKC dengan konsentrasi 1% (v/v). Menurut Sekarini (2005), proses interkalasi didasari atas pertukaran kation yang terdapat pada antar lapis lempung, seperti Na^+ , K^+ , dan Ca^{2+} . Proses penyisipan surfaktan BKC ke dalam ruang antar lapis (*basal spacing*) bersifat reversible dimana surfaktan BKC terdistribusi ke dalam ruang antar lapis sehingga oligomer BKC membentuk pilar yang dapat meningkatkan jarak antar lapis seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses interkalasi surfaktan BKC ke dalam antar lapis bentonite

Pada Gambar 1 dapat dilihat bahwa proses interkalasi surfaktan ke dalam antar lapis bentonite berlangsung secara bertahap dari A sampai E, dimulai dari molekul tunggal sampai terbentuknya oligomer yang dapat memperlebar jarak antar lapis lempung.

Karakterisasi dengan menggunakan XRD bertujuan untuk mengetahui jarak antar lapis (*basal spacing*) dan kristalinitas dari lempung bentonit. Pada Gambar 2 terlihat perbedaan difraktogram akibat aktivasi lempung dengan H_2SO_4 1,5 M.

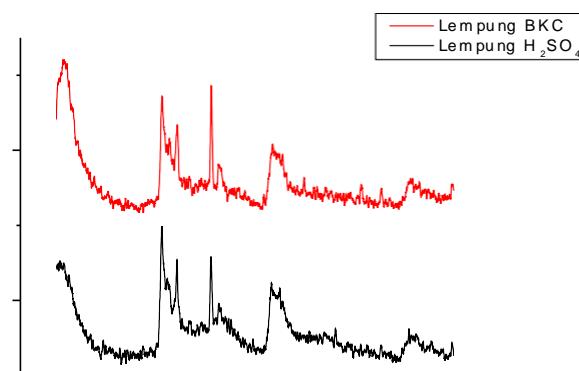


Gambar 2. Difaktogram Lempung awal dan teraktivasi H_2SO_4

Aktivasi menggunakan asam H_2SO_4 1,5 M terlihat puncak difraksi pada $2\theta = 19.56^\circ$ dan 34.72° dengan basal spacing berturut-turut sebesar 4.54 \AA ,

dan 2.58 Å. Hasil difraksi ini berbeda dengan hasil sebelum dilakukan aktivasi yang memiliki nilai 20 dan jarak antar lapis (*basal spacing*) berturut-turut pada $2\theta = 7.04^\circ$, 19.62° , dan 34.54° dengan basal spacing berturut-turut sebesar 12.56 Å, 4.53 Å, dan 2.60 Å. Perbedaan terjadi pada struktur bentonit alam dengan struktur bentonit teraktivasi asam ditandai dengan hilangnya difraksi pada $2\theta = 7.04^\circ$.

Difraktogram pada Gambar 3., menyatakan bahwa telah terjadi proses interkalasi *Benzalkonium chloride* (BKC) ditandai dengan adanya pergeseran sudut 2θ dari 7.04° , 19.62° , dan 34.54° menjadi 6.18° , 19.54° , dan 34.82° dan terjadi peningkatan *basal spacing* sebesar 1.74 Å (14.30 Å - 12.56 Å), 0.01 Å (4.54 Å - 4.53 Å), dan 0.02 Å (2.60 Å - 2.58 Å).



Gambar 3. Difraktogram Lempung teraktivasi H_2SO_4 dan bentonite terinterkalasi BKC

Kadar kalium Slow Release Fertilizer (SRF) dengan metode SSA

Hasil pengukuran kalium menggunakan metode Spektrofotometri Serapan Atom, bahwa dalam Lempung-BKC, SRF20:10, SRF20:20, SRF20:30, SRF20:40, dan SRF20:50 mengandung kadar kalium sebagaimana disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kadar kalium pada sampel SRF kombinasi bentonit teraktivasi dan bentonit termodifikasi dengan KNO_3

No	Sampel	Kadar Kalium (%)	Sampel	Kadar Kalium (%)
1	Bentonit	0,15	Bentonit	0,15
2	$\text{BK}_{20:10}$	5,45	$\text{SRF}_{20:10}$	8,67
3	$\text{BK}_{20:20}$	9,87	$\text{SRF}_{20:20}$	30,22
4	$\text{BK}_{20:30}$	13,34	$\text{SRF}_{20:30}$	44,25
5	$\text{BK}_{20:40}$	12,99	$\text{SRF}_{20:40}$	42,11
6	$\text{BK}_{20:50}$	13,35	$\text{SRF}_{20:50}$	43,65

Keterangan:

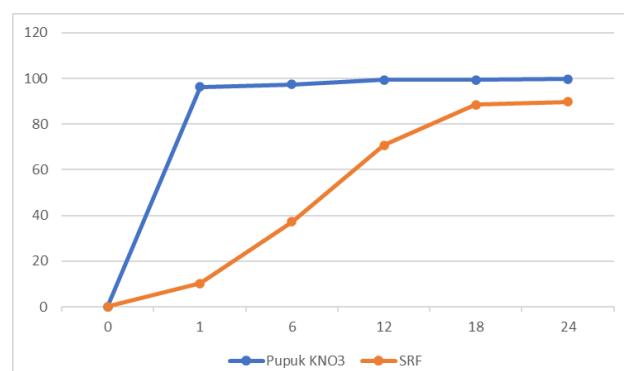
BK = Campuran bentonit teraktivasi asam sulfat dengan KNO_3

SRF = Campuran bentonit teraktivasi asam terinterkalasi BKd dengan KNO_3

Berdasarkan data pada Tabel 2, dapat dilihat bahwa bentonit alam mengandung kalium akan tetapi jumlahnya kecil yakni 0,15 %. Bentonit yang dimodifikasi dengan surfaktan BKC mempunyai kemampuan mengikat kalium jauh lebih tinggi dari bentonit yang hanya di aktivasi dengan asam sulfat. Kadar kalium optimum ditunjukkan pada perbandingan bentonit dengan KNO_3 20:30. Peningkatan perbandingan bentonit-KNO₃ sampai perbandingan 20:50 tidak lagi menunjukkan peningkatan jumlah kalium yang terikat, hal ini kemungkinan disebabkan oleh seluruh permukaan bentonit sudah jenuh mengikat kalium (Azmiyawati, 2022).

Pelepasan Slow-Release Fertilizer (SRF) Bentonit-Kalium Hasil Sintesis

Proses pelepasan kalium dari SRF dikaji dengan varisi pH yakni pada pH 5, 7, dan 9 bertujuan untuk mempelajari pengaruh pH lingkungan terhadap pelesan kalium dari SRF. Hal pertama yang dikaji adalah membandingkan pelepasan kalium dari pupuk KNO_3 dengan pupuk SRF seperti ditampilkan pada Gambar 4.

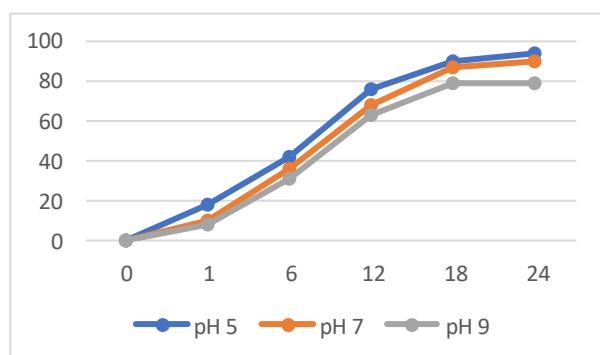


Gambar 4. Perbandingan pelepasan pupuk KNO_3 dengan SRF

Hasil uji pelepasan pupuk KNO_3 pada hari pertama menunjukkan bahwa 97% pupuk telah terlepas ke lingkungan, hal ini mengidikasikan pupuk ini kelarutannya sangat tinggi. Pengaplikasian pada tanaman dapat menyebabkan penyerapan yang berlebihan pada awalnya dan selanjutnya akan terjadi kekurangan nutrisi apabila terjadi hujan lebat atau irigasi berlebihan yang mencuci pupuk keluar dari zona perakaran. Proses pengikatan pupuk KNO_3 dengan bentonit termodifikasi menjadi SRF menyebabkan proses pelepasan menjadi bertahap dan terkendali. Hasil uji hari pertama hanya terlepas 10%, hari ke enam 37%, hari ke duabelas 70%, hari ke delapan belas 88%, dan hari ke 24 sebesar 89%. Penggunaan pupuk SRF pada tanaman akan mampu menyediakan

nutrisi untuk mendukung pertumbuhan tanaman secara berkelanjutan (Nurulisia, 2025).

Pelepasan kalium dari pupuk SRF sangat dipengaruhi pH lingkungan. Pengujian pH bertujuan untuk menentukan kondisi optimal untuk pelepasan nutrisi dan kinerja dari pupuk itu sendiri. Gambar 5 menunjukkan hasil uji pelepasan kalium dari SRF pada pH 5, 7, dan 9.



Gambar 5. Pelepasan kalium dari SRF dengan kajian variasi pH

Berdasarkan Gambar 5 dapat dilihat bahwa pada pH 5 (asam) pelepasan kalium paling tinggi, terutama terlihat pada hari pertama, kalium yang terlepas 18% dibanding pada pH netral yang hanya 10%. Hal ini disebabkan karena pada pH rendah akan menyebakan degradasi bahan pengikat akan menjadi lebih cepat dan kelarutan kalium juga lebih besar pada pH rendah. Pada pH netral pelepasan kalium cenderung lebih stabil dan terkontrol sedangkan pada pH tinggi (basa), proses pelepasan kalium paling rendah dsn pada hari ke 24 sebesar jumlah pelepasan tidak terjadi peningkatan lagi. Pelepasan yang lebih lambat pada kondisi basa disebabkan karena stabilitas dari agen pengikat menjadi lebih kuat dan pada kondisi basa unsur unsur hara dapat membentuk kompleks yang kurang larut (Li, 2025).

SIMPULAN

Modifikasi bentonite dengan proses aktivasi dan interkalasi surfaktan benzalkonium klorida (BKC) mampu memperbaiki karakter bentonite dengan peningkatan luas permukaan dari 25,55 m²/g menjadi 48,70 m²/g dan basal spacing meningkat dari 12,56 Å menjadi 14,30 Å. Kondisi optimum campuran bentonite termodifikasi BKC dalam mengikat kalium adalah pada perbandingan 2 : 3. Pelepasan kalium paling tinggi terjadi pada pH rendah (asam), selanjutnya pada pH netral dan paling rendah pada pH basa.

DAFTAR PUSTAKA

- Azmiyawati C., Bilah A. A. M & Darmawan A. 2022. The adsorption capacity of clay cetyltrimethylammonium/magnetite against the metal ion Cr(VI). Proceedings of the 16th Joint Conference on Chemistry (JCC 2021), 2553(1): 244-2576.
- Bergaya.F. dan Lagaly. G. 2006. General Introductions: Clays, Clay Minerals, and Clay Science. Handbook of Clay Science.
- Indriani E., Athallah F, Despriadi E., & Purnomosidi. 2024. The Development of Environmentally Friendly and Economically Biological Sulfur Recovery for Slow-Released Fertilizer with Sulfur-Coated Urea Method: A Case Study in Cepu Field. Indonesian Journal on Geoscience, 11(2): 167-172.
- Kareem S.A., Dere E., Gungula D.T., Andrew F.P., Saddiq A.M., Adebayo E.F., Tame C. T., Kefas H.M., Joseps J., & Patrick D.O. 2021. Synthesis and Characterization of Slow-Release Fertilizer Hydrogel Based on Hydroxy Propyl Methyl Cellulose, Polyvinyl Alcohol, Glycerol, and Blended Paper. Journal Gels Nigeria, 7(4): 262 -272.
- Khan S. dan Madjid S.A. 2025 Review on Surfactant Modified Zeolites as Slow-Release Fertilizer. Medalion Journal, 6(2): 62-82.
- Li H., Wang S., Liau X., Yan H., Luu J., Li Y., Li Y., Chen Z., & Liu H. 2025. Preparation and Properties of pH- Responsive Starch- Based Gel Coated Slow- Release Fertilizer. Journal of Applied Polymer Science, 143(3): 265-276.
- Nurulisia Y.S. dan Cahyaningrum S.E. 2025. Sintesis dan karakterisasi urea SRF dengan Matriks Kitosan termodifikasi PVA/CaCO₃. UNESA Journal of Chemistry, 14(1): 8-14.
- Putri, R.S. dan Pinaria A.G. 2023. The Use of Compost Chromolaena adronata to Improve Soil Potassium. Jurnal Agroteknologi Terapan, Universitas Samratulangi, 2(1): 15-17.
- Sarkar M. dan Dana K. 2022. Intercalation of montmorillonite with dialkylammonium cationic surfactants. Journal of Molecular Structure, 1256(40): 211-222.
- Sekewael S.J., Tehubijuluw H., Lefmanuif I., C. 2015. Intercalation of Clay by Surfactant and its application as an adsorbent for lead ion (Pb²⁺). Journal Unpatti, 3(1): 231-237.