

Sintesis dan Karakterisasi Pupuk Lepas lambat Fe-Zn dari Limbah Besi, Limbah Seng, dan Cangkang Telur Ayam

Rosy Dwi Rahmawati^{1*}, Sunardi²

^{1,2}Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Setia Budi, Surakarta

*Koresponden email: 26200338d@mhs.setiabudi.ac.id

Diterima: 21 Juni 2024

Disetujui: 29 Juni 2024

Abstract

The synthesis of slow-release Fe-Zn fertilizer from community waste, using iron waste, zinc waste, and chicken eggshells as raw materials, aims to transform underutilized waste into economically valuable products. The study investigates three fertilizer compositions for the ratios 1:1:1, 1:1:2, and 2:1:1 (FeSO₄: CaCO₃: ZnSO₄). The synthesis process involves mixing FeSO₄, CaCO₃, and ZnSO₄ with distilled water. After mixing, the fertilizer is dried and characterized using FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) and SEM (*Scanning Electron Microscope*) - EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*). SEM analysis reveals irregularly shaped Fe-Zn slow-release fertilizers with uneven surfaces. FTIR results show similar spectral regions among the three variations. The presence of CaO is indicated by absorption bands at 709.80 cm⁻¹, while Zn-O-H bonds appear at 1,070 cm⁻¹. Fe-O bonds are identified at 692 cm⁻¹.

Keywords: *Slow release fertilizer, Fertilizer, Zinc, Iron, Chicken eggshell, Waste*

Abstrak

Sintesis pupuk lepas lambat Fe-Zn berasal dari limbah masyarakat dengan bahan dasar yaitu limbah seng, limbah besi, dan cangkang telur ayam. Penelitian ini bertujuan untuk menciptakan pupuk lepas lambat Fe-Zn dari limbah masyarakat dengan cara mensintesis limbah yang selama ini belum banyak dimanfaatkan menjadi produk yang bernilai ekonomis. Dalam penelitian ini terdapat 3 variasi komposisi pupuk dengan perbandingan (FeSO₄: CaCO₃: ZnSO₄) yaitu 1:1:1, 1:1:2, dan 2:1:1. Sintesis ini dilakukan dengan cara mencampurkan bahan baku berupa FeSO₄, CaCO₃, dan ZnSO₄ dengan akuades. Setelah tercampur, kemudian pupuk dikeringkan dan dilakukan karakterisasi dengan FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) dan SEM (*Scanning Electron Microscope*) - EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*). Hasil uji SEM menunjukkan pupuk lepas lambat Fe-Zn berbentuk tidak beraturan dengan permukaan pupuk yang tidak merata. Sedangkan Hasil uji FTIR menunjukkan daerah spektrum yang hampir sama antara ketiga variasi. Keberadaan CaO dapat diketahui melalui kemunculan pita serapan pada panjang gelombang 709,80 cm⁻¹. Selain itu munculnya Zn-O-H dapat dilihat dari adanya pita serapan pada bilangan gelombang 1.070 cm⁻¹. Sedangkan ikatan Fe-O terdapat pada panjang gelombang 692 cm⁻¹.

Kata Kunci: *Slow release fertilizer, Pupuk, Seng, Besi, Cangkang telur ayam, limbah*

1. Pendahuluan

Pembangunan di sektor pertanian Indonesia adalah yang paling penting dari seluruh pembangunan di Indonesia. Mayoritas penduduk bekerja sebagai petani, dan sektor ini menjadi dasar pertumbuhan ekonomi di pedesaan. Salah satu masalah yang sering dihadapi petani adalah kondisi tanah yang kurang subur. Masalah ini dapat diatasi dengan pemupukan. Pupuk dapat meningkatkan hasil panen hingga 50%, namun pemupukan yang tidak optimal atau berlebihan dapat mengurangi efisiensi penggunaan pupuk dan berpotensi merusak lingkungan serta ekosistem [1], [2].

Namun, kenyataannya di lapangan menunjukkan bahwa penggunaan pupuk di Indonesia masih kurang efektif karena banyak pupuk yang terbuang sia-sia dan proses pemupukan yang tidak tepat [3]. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Lestari et al. (2020), masalah ini disebabkan oleh pupuk yang beredar di masyarakat yang mudah larut, sehingga kandungan pupuk tidak dapat diserap secara optimal oleh tanaman. Hal ini dapat menyebabkan beberapa masalah seperti pencemaran lingkungan, gangguan kesehatan, penurunan kualitas hasil pertanian, biaya produksi yang tinggi, dan waktu pemupukan yang tidak efektif. Oleh karena itu, diperlukan pupuk yang memiliki pola pelepasan unsur hara yang sesuai dengan pola penyerapan unsur hara oleh tanaman. Solusi yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk dan meminimalkan polusi tanah serta air adalah menggunakan pupuk

pelepasan terkendali (*slow release fertilizer*). Jenis pupuk ini mampu memasok unsur hara secara bertahap sesuai kebutuhan tanaman dan mengontrol pelepasan unsur hara selama periode waktu yang panjang [4].

Disamping itu, di Kecamatan Colomadu, Karanganyar terdapat beberapa Industri roti. Industri roti menggunakan telur sebagai bahan baku dalam proses pembuatannya. Telur diolah menjadi roti, sedangkan cangkangnya dibuang begitu saja. Jika hal ini terus berlanjut, akan berdampak negatif pada lingkungan [5]. Cangkang telur ayam merupakan limbah pangan yang selama ini masih belum banyak dimanfaatkan. Kandungan kalsium pada cangkang telur yang tinggi, sekitar 36% dari berat totalnya, dapat digunakan untuk meningkatkan kesuburan tanah. Komposisi cangkang telur terdiri dari 98,2% kalsium karbonat, 0,9% magnesium, dan 0,9% fosfor. Sementara itu, membran cangkang telur terdiri dari 69,2% protein, 2,7% lemak, 1,5% air, dan 27,2% abu. Cangkang telur dapat dimanfaatkan sebagai pupuk tanaman dan penetral tanah yang asam [6], [7]. Hal ini menunjukkan bahwa cangkang telur bisa menjadi salah satu sumber kalsium yang potensial.

Sementara itu, kegiatan praktik mesin bubut menghasilkan limbah berupa serpihan-serpihan (*scrap*). Limbah padat dari bengkel bubut selama ini kebanyakan dimanfaatkan untuk besi daur ulang dengan nilai ekonomi yang sangat rendah. Serbuk besi dari bengkel bubut yang berukuran sangat kecil biasanya tidak dimanfaatkan lagi, sehingga dibuang langsung dan menyebabkan pencemaran lingkungan. Padahal, limbah ini masih mengandung bahan berharga yang bisa di daur ulang untuk memberikan keuntungan ekonomis dengan prinsip *reuse, recycle, dan recovery*. Berdasarkan penelitian, limbah besi dari bengkel bubut dapat disintesis menjadi *copperas* dengan kadar 99%. Kadar *copperas* ini memenuhi syarat mutu yang ditetapkan dalam SNI 06-4888-1998 dan Farmakope Indonesia Edisi IV [8].

Berdasarkan uraian diatas maka, dilakukan sintesis pupuk lepas lambat dengan menggunakan bahan baku limbah seng, cangkang telur, dan *scrap* besi.

2. Metode Penelitian

Transformasi Limbah Seng menjadi ZnSO₄

Asam sulfat pekat sebanyak 20 ml ditambahkan kedalam 10 gram limbah seng sambil diaduk perlahan – lahan. Filtrat yang dihasilkan disaring kemudian campuran didiamkan selama 24 jam [9].

Preparasi Cangkang Telur Ayam

Preparasi cangkang telur dimulai dengan mencuci cangkang telur. Selanjutnya, cangkang dikeringkan dengan menggunakan panas matahari. Setelah kering, cangkang telur dihancurkan menggunakan alat mortar hingga menjadi tepung dan kemudian disaring dengan ayakan berukuran 100 mesh [6].

Transformasi Scrap Besi menjadi FeSO₄

Pembuatan *copperas* dari *scrap* besi bengkel bubut dilakukan sebagai berikut: *Scrap* besi yang telah dibersihkan sebanyak sekitar 25 gram direaksikan dengan larutan asam sulfat 25% sebanyak 100 ml dalam erlenmeyer. Setelah itu, larutan disaring dan dimasukkan ke dalam lemari es selama 24 jam. Kristal *copperas* yang terbentuk disaring dengan pompa vakum kemudian dicuci dengan alkohol. Kristal yang terbentuk dikeringkan dalam desikator [8].

Pembuatan Pupuk Lepas Lambat Fe-Zn

Pembuatan pupuk lepas lambat ZnSO₄ – CaCO₃ - FeSO₄.7H₂O dilakukan dengan cara mencampurkan ZnSO₄ dari hasil preparasi limbah seng, CaCO₃ dari cangkang telur dan FeSO₄.7H₂O dari *scrap* besi masing-masing dengan perbandingan (FeSO₄: CaCO₃: ZnSO₄) yaitu 1:1:1, 1:1:2, dan 2:1:1 kemudian ditambahkan ke dalam 50 ml akuades dan diaduk menggunakan pengaduk magnetik. Setelah proses pengadukan selesai, dilakukan pengeringan. Produk yang dihasilkan kemudian dianalisis untuk sifat kimianya menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang ada, serta analisis morfologi permukaannya menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) untuk melihat struktur dan tekstur permukaan [10], [11].

3. Hasil dan Pembahasan

Transformasi Limbah Seng menjadi ZnSO₄

Preparasi limbah seng menjadi ZnSO₄ dilakukan dengan mereaksikan limbah seng yang diperoleh dari bengkel mesin bubut dengan asam sulfat selama 2 jam lalu dilakukan penyaringan. Filtrat yang dihasilkan didinginkan di dalam lemari es selama 24 jam. Dari proses pendinginan tersebut akan terbentuk kristal ZnSO₄ yang berwarna putih. Kristal ZnSO₄ yang dihasilkan sesuai dengan penelitian terpublikasikan [12]. Kristal hasil sintesis yang diperoleh sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Kristal $ZnSO_4$

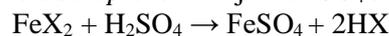
Transformasi Scrap Besi menjadi $FeSO_4$

Penyintesisan $FeSO_4$ dari *scrap* besi dilakukan dengan mereaksikan *scrap* besi yang diperoleh dari bengkel mesin bubut dengan asam sulfat. Larutan hasil reaksi kemudian disaring dan dimasukkan dalam lemari es selama 24 jam. Hasil sintesis yang diperoleh sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Kristal $FeSO_4$

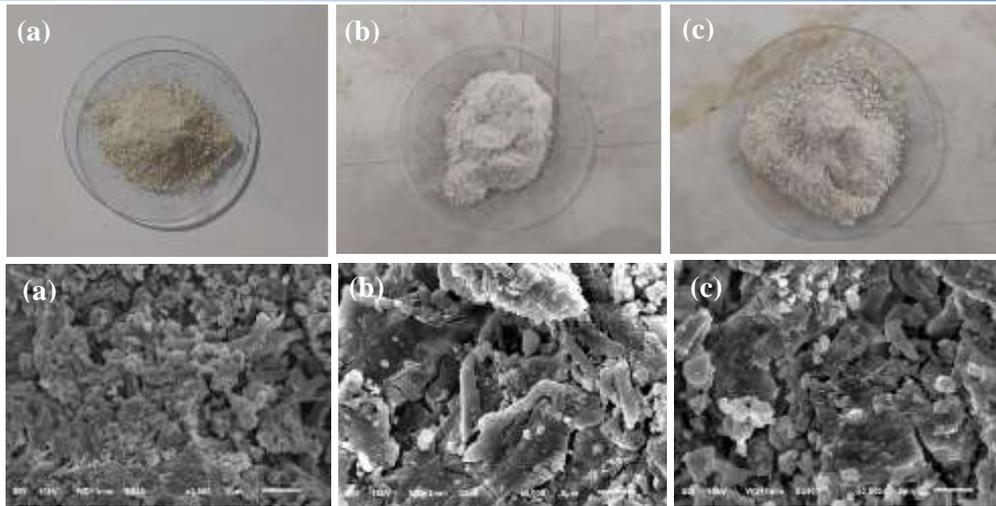
Hasil sintesis *scrap* besi menjadi $FeSO_4$ yang diperoleh sesuai dengan penelitian terpublikasikan [8], dimana *scrap* besi jika direaksikan dengan asam sulfat akan diperoleh kristal $FeSO_4$ yang berwarna biru kehijauan. Reaksi yang terjadi pada sintesis *scrap* besi menjadi $FeSO_4$ sebagai berikut :



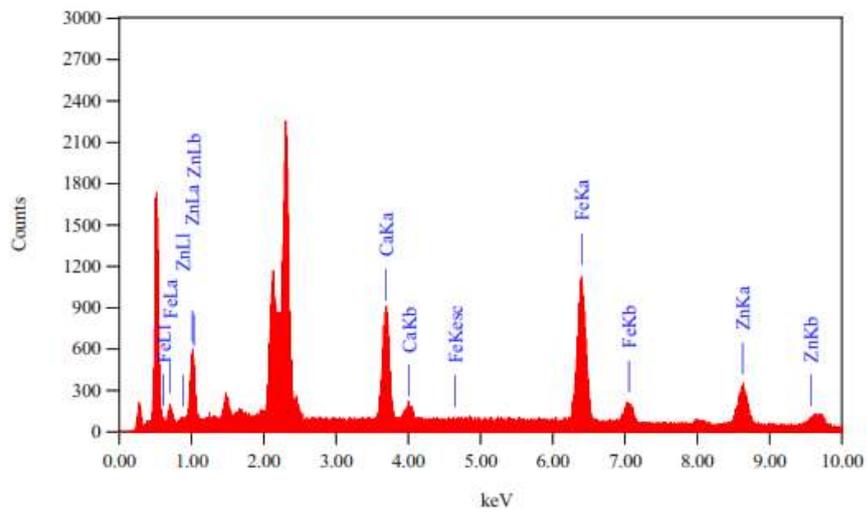
Morfologi Produk

Pupuk lepas lambat Fe-Zn dibentuk dari $FeSO_4$, $ZnSO_4$, dan $CaCO_3$ dengan perbandingan ($FeSO_4$: $CaCO_3$: $ZnSO_4$) yaitu 1:1:1, 1:1:2, dan 2:1:1. Pupuk yang dihasilkan yaitu berbentuk serbuk halus dengan warna putih dan putih kekuningan. Perbedaan warna pada pupuk lepas lambat dapat disebabkan oleh pembentukan senyawa kompleks antara gugus aktif yang terdapat di dalamnya. Dari pembuatan pupuk lepas lambat Fe-Zn dihasilkan pupuk dengan karakteristik seperti terlihat pada **Gambar 3**.

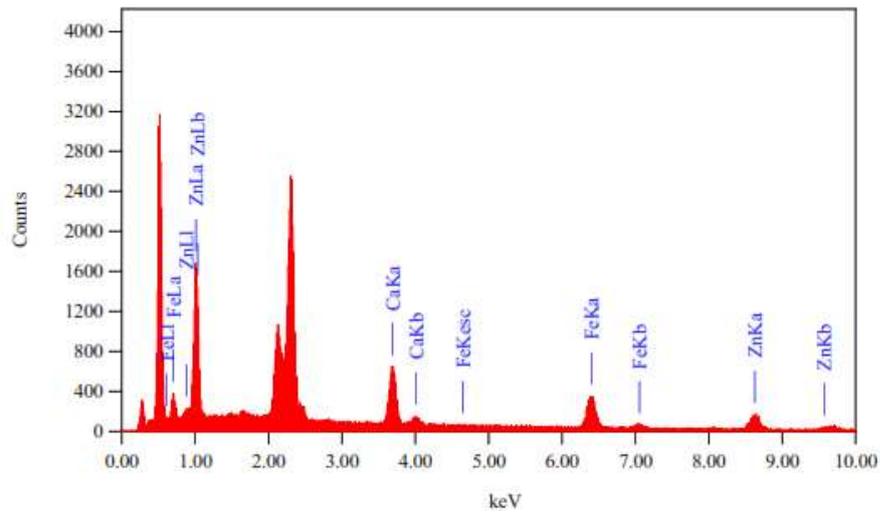
Gambar 3 menunjukkan analisis morfologi pupuk lepas lambat Fe-Zn menggunakan alat SEM (Scanning Electron Microscope) untuk menggambarkan bentuk pupuk lepas lambat yang dihasilkan dari reaksi silang antara $FeSO_4$, $ZnSO_4$, dan $CaCO_3$. Pada analisis SEM tersebut menunjukkan bahwa pupuk lepas lambat Fe-Zn berbentuk tidak beraturan dengan permukaan pupuk yang tidak merata. Akan tetapi secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa pupuk lepas lambat Fe-Zn telah terbentuk dengan baik meskipun tidak memiliki bentuk yang sempurna.



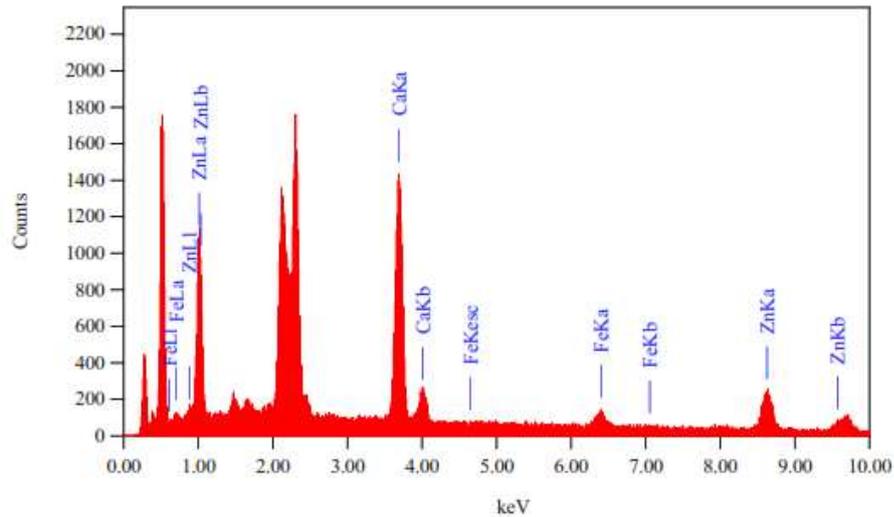
Gambar 3. Karakter Visual Pupuk Lepas Lambat Fe-Zn, (a) 1:1:1, (b) 1:1:2, dan (c) 2:1:1



Gambar 4. Grafik EDS Pupuk 1 (1:1:1)



Gambar 5. Grafik EDS Pupuk 2 (1:1:2)



Gambar 6. Grafik EDS Pupuk 3 (2:1:1)

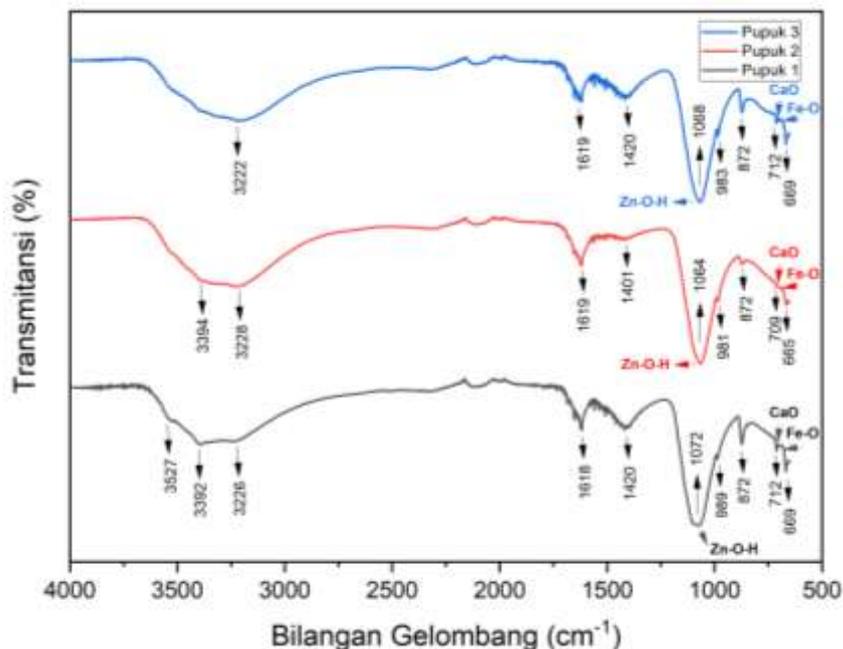
Tabel 1. Hasil SEM-EDS Pupuk Lepas Lambat Fe-Zn

Komposisi Pupuk (FeSO ₄ : CaCO ₃ : ZnSO ₄)	% Massa Komposisi Kimia		
	Fe	Ca	Zn
Pupuk 1 (1:1:1)	46,06	10,58	43,35
Pupuk 2 (1:1:2)	33,30	17,55	49,14
Pupuk 3 (2:1:1)	6,06	32,76	61,18

Analisis komposisi kimia dari pupuk lepas lambat Fe-Zn dilakukan dengan menggunakan EDS yang tersedia pada alat SEM (*Scanning Electron Microscope*). Tabel 1 menunjukkan persentase massa dari elemen-elemen kimia yang ada dalam pupuk lepas lambat Fe-Zn. Berdasarkan dari hasil uji EDS dapat diketahui komponen terbesar dalam pupuk lepas lambat Fe-Zn adalah komponen Fe dan Zn. Dimana pada komposisi pupuk 1 (1:1:1), komponen Fe dan Zn hampir sama massanya. Sedangkan pada komposisi pupuk 2 (1:1:2) dan pupuk 3 (2:1:1), komponen Zn lebih besar dari komponen Fe dan Ca. Unsur Fe dan Zn adalah nutrisi mikro yang diperlukan oleh tanaman [4].

Spektra Produk

Hasil analisis FTIR produk pupuk lepas lambat Fe-Zn hasil sintesis ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil Analisis FTIR Pupuk Lepas Lambat Fe-Zn

Berdasarkan **Gambar 7**, dapat dilihat spektrum IR pupuk lepas lambat dengan perbandingan komposisi FeSO_4 , ZnSO_4 , dan CaCO_3 yaitu 1:1:1, 1:1:2, dan 2:1:1. Spektrum IR menunjukkan adanya puncak yang berbeda. Terdapat puncak yang tidak ada pada komposisi pupuk 2 (1:1:2) dan pupuk 3 (2:1:1) akan tetapi muncul pada spektrum komposisi pupuk 1 (1:1:1). Berdasarkan gambar tersebut, pada spektrum pupuk 1 (1:1:1) muncul pita serapan baru pada bilangan gelombang 3527 cm^{-1} yang tidak terdapat pada komposisi pupuk 2 (1:1:2) dan pupuk 3 (2:1:1). Selain itu juga teramati adanya perubahan dalam pita serapan pada spektrum IR pada bilangan gelombang 1072 cm^{-1} , dimana terlihat bahwa puncaknya melebar di daerah tersebut, sedangkan pada komposisi pupuk 2 (1:1:2) dan pupuk 3 (2:1:1) muncul puncak yang tajam. Secara umum, pola serapan pada komposisi pupuk 1 (1:1:1), pupuk 2 (1:1:2) dan pupuk 3 (2:1:1) tidak mengalami perbedaan yang signifikan meskipun terdapat variasi dalam intensitas serapan. Namun variasi dalam komposisi bahan baku cukup mempengaruhi hasil spektrum IR, terlihat dari semakin melebarnya puncak serapan hingga muncul puncak baru. Keberadaan CaO dapat teridentifikasi dari adanya pita serapan pada panjang gelombang $709,80\text{ cm}^{-1}$ [13]. Selain itu munculnya Zn-O-H dapat teridentifikasi dari adanya pita serapan pada panjang gelombang 1.070 cm^{-1} [14]. Sedangkan ikatan Fe-O terdapat pada bilangan gelombang 692 cm^{-1} [15].

4. Kesimpulan

Berdasarkan sintesis dan karakterisasi pupuk lepas lambat Fe-Zn dapat disimpulkan bahwa pupuk yang dihasilkan yaitu berbentuk serbuk halus dengan warna putih dan putih kekuningan. Pada analisis SEM menunjukkan bahwa pupuk lepas lambat Fe-Zn berbentuk tidak beraturan dengan permukaan pupuk yang tidak merata. Komposisi unsur dari pupuk lepas lambat Fe-Zn terdiri dari Besi (Fe), Seng (Zn), dan Kalsium (Ca). Pada analisis FTIR dihasilkan daerah spektrum yang hampir sama. Keberadaan CaO dapat teridentifikasi dari adanya pita serapan pada panjang gelombang $709,80\text{ cm}^{-1}$. Selain itu munculnya Zn-O-H dapat teridentifikasi dari adanya pita serapan pada panjang gelombang 1.070 cm^{-1} . Sedangkan ikatan Fe-O terdapat pada bilangan gelombang 692 cm^{-1} .

5. Referensi

- [1] H. Aziz, P. S. Kimia, J. Matematika, and D. A. N. Pengetahuan, "Pembuatan Pupuk Lepas Lambat (*Slow Release Fertilizer*) NPK Berbasis Abu Tempurung Kelapa yang dienkapsulasi dengan Asam Humat" 2022.
- [2] J. Jayanudin and R. S. D. Lestari, "Enkapsulasi dan Karakterisasi Pelepasan Terkendali Pupuk NPK menggunakan Kitosan yang ditaut Silang dengan Glutaraldehid," *Alchemy J. Penelit. Kim.*, vol. 16, no. 1, p. 110, 2020, doi: 10.20961/alchemy.16.1.34711.110-125.
- [3] M. Saleh, Zulmanwardi, and P. O.S, "Pembuatan Pupuk SRF (*Slow Release Fertilizer*) dengan menggunakan Polimer Amilum," *Prosiding*, 2018.
- [4] K. Aulia, "Sintesis Pupuk Lepas Lambat (*Slow Release Fertilizer*) dengan Biochar sebagai Matriks untuk Tanaman Bawang Merah (*Allium Ascalonium*)," 2022.
- [5] Y. Setiawan, "Perbedaan Kekasaran Permukaan Basis Resin Akrilik Polimerisasi Panas menggunakan Bahan Pumis, Cangkang Telur dan Pasta Gigi sebagai Bahan Poles," 2017, [Online]. Available: <https://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/1767>.
- [6] Sunardi, E. Desy, and A. Mahayana, "Sintesis dan Karakterisasi Nanokalsium Oksida dari Cangkang Telur," vol. 16, no. 2, pp. 250–259, 2020, doi: 10.20961/alchemy.16.2.40527.250-259.
- [7] Bimasri, John, and Nely Murniati. "Eksplorasi manfaat limbah cangkang telur untuk peningkatan produksi tanaman kedelai (*Glycine Max L. Merrill*) pada tanah Ultisol." *Klorofil: Jurnal Penelitian Ilmu-Ilmu Pertanian* 12.1 (2017): 52-57.
- [8] Sunardi, Mardiyono, and N. Hidayati, "Pemanfaatan Scrap Besi menjadi Copperas dan Ekstrak Kulit Rambut untuk Pembuatan Nanopartikel Besi yang Ramah Lingkungan," vol. 20, no. 3, pp. 494–507, 2022, doi: 10.14710/jil.20.3.494-507.
- [9] Sunardi, Sunardi, and Silviana Silviana. "Transformasi Abu Vulkanik dan Limbah Seng menjadi Nanokomposit ZnO-SiO₂ dan Aplikasinya untuk Degradasi Rhodamin B." *Jurnal Ilmu Lingkungan* 20.4 (2022): 856-871.
- [10] I. A. Suci and I. Astar, "Enkapsulasi Urea menggunakan Biokomposit Zeolit Alam Alginat-Pati Sagu sebagai Model Pupuk Lepas Lambat (*Slow Release Fertilizer*)," pp. 1–11, 2022, doi: 10.24252/al-kimiav10i1.23739.
- [11] R. T. Savana and D. K. Maharani, "Analisis Komposisi Unsur Pupuk Lepas Lambat Kitosan-Silika-Glutaraldehyd," *Unesa J. Chem.*, vol. 7, no. 1, pp. 21–24, 2018.
- [12] A. Ngatin and R. P. Sihombing, "Konversi Zink dari Limbah Baterai Zn-C menjadi Senyawa Seng

-
- Sulfat,” vol. 6573, pp. 13–17, 2021, doi: 10.17977/um0260v5i22021p013.
- [13] S. Dampang and E. Purwanti, “*Characterization of Seashell Waste through Calcination Process,*” *Tek. Kim.*, vol. 7, no. 2, pp. 135–141, 2020.
- [14] Putra, Bagus Febri Rizkyanida, Zakesa Ekky Kautsara, and Hilda Mahfudhaha. "Karakterisasi Katalis CaO-ZnO Dari Metode Sintesis Yang Berbeda." *Education 2020* (2015).
- [15] A. Yulianingsih and Munasir, “Analisis Komposit Fe₃O₄/C-SiO₂ dari Pasir Talud dan Pasir Lumajang,” *Inov. Fis. Indones.*, vol. 05, pp. 5–8, 2016.