



Potensi Pemanfaatan Limbah Endapan Asam Fosfat dan Limbah Kapur ZA II sebagai Bahan Baku Pembuatan Pupuk SP – 15

Fawwaz Akhdan Praditya^{1*}, Rizka Novembrianto²

^{1,2}Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Indonesia

Alamat: Jl. Raya Rungkut Madya, Gunung Anyar Surabaya Jawa Timur 60294 Indonesia

Korespondensi penulis: 21034010138@student.upnjatim.ac.id*

Abstract. *This study explores the potential utilization of phosphoric acid sludge and ZA II lime waste as raw materials for the production of SP-15 fertilizer, which is essential for enhancing agricultural productivity and addressing environmental issues related to waste disposal. The research aims to analyze the phosphorus content (P_2O_5), moisture levels, sulfur (S), and calcium oxide (CaO) in the raw materials and the final fertilizer product. Methods employed include sampling, gravimetric analysis, and spectrophotometry. The findings indicate that phosphoric acid sludge contains an average P_2O_5 content of 33.05%, making it a potential phosphorus source for fertilizer production. Additionally, ZA II lime demonstrates good hygroscopic properties. This research concludes that utilizing these two wastes can not only reduce reliance on chemical fertilizers but also provide economic benefits to farmers and support sustainable agriculture. The implications of this study highlight the need for further research to optimize waste processing techniques and enhance community awareness regarding waste management.*

Keywords: *Fertilizer, Phosphoric Acid Sludge, Sustainable Agriculture, Waste Utilization*

Abstrak. Penelitian ini mengeksplorasi potensi pemanfaatan limbah endapan asam fosfat dan limbah kapur ZA II sebagai bahan baku pembuatan pupuk SP-15, yang penting untuk meningkatkan produktivitas pertanian dan mengatasi masalah lingkungan terkait limbah. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis kandungan fosfat (P_2O_5), kadar air, sulfur (S), dan kalsium oksida (CaO) dalam bahan baku serta produk akhir pupuk. Metode yang digunakan meliputi pengambilan sampel, analisis gravimetri, dan spektrofotometri. Hasil penelitian menunjukkan bahwa limbah endapan asam fosfat memiliki kandungan P_2O_5 rata-rata sebesar 33,05%, menjadikannya sumber fosfor yang potensial untuk pupuk. Selain itu, limbah kapur ZA II menunjukkan sifat higroskopis yang baik. Penelitian ini menyimpulkan bahwa pemanfaatan kedua limbah ini tidak hanya dapat mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia tetapi juga memberikan manfaat ekonomi bagi petani dan mendukung keberlanjutan pertanian. Implikasi dari penelitian ini menekankan perlunya penelitian lebih lanjut untuk mengoptimalkan teknik pengolahan limbah dan meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pengelolaan limbah.

Kata Kunci: Pupuk, Limbah Endapan Asam Fosfat, Pertanian Berkelanjutan, Pemanfaatan Limbah.

1. LATAR BELAKANG

Limbah pertanian dan industri sering kali menjadi masalah lingkungan yang signifikan, namun di sisi lain, limbah tersebut juga memiliki potensi besar sebagai sumber bahan baku untuk pembuatan pupuk organik. Dalam konteks ini, limbah endapan asam fosfat dan Limbah Kapur ZA II dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam pembuatan pupuk SP-15, yang merupakan pupuk majemuk yang kaya akan unsur hara. Pupuk ini sangat dibutuhkan untuk meningkatkan produktivitas pertanian, terutama dalam menghadapi tantangan pertanian berkelanjutan dan kebutuhan pangan global yang terus meningkat.

Banyak penelitian telah dilakukan tentang penggunaan limbah pertanian sebagai pupuk organik dan telah diterapkan di berbagai wilayah. Misalnya, penelitian oleh (Muliarta et al., 2023).menunjukkan bahwa pengolahan limbah pertanian dapat meningkatkan kesuburan tanah dan meningkatkan hasil pertanian. Selain itu, limbah organik rumah tangga juga telah diubah menjadi pupuk. Beberapa komunitas telah belajar mengolah limbah menjadi pupuk mikroba (Rahmah, 2022). Hal ini menunjukkan betapa pentingnya pelatihan dan edukasi tentang pengolahan limbah untuk meningkatkan kesadaran masyarakat akan potensi limbah yang ada di sekitar mereka.

Selain itu, penelitian Utama menunjukkan bahwa pupuk organik sangat penting untuk meningkatkan produktivitas lahan pertanian, terutama di wilayah yang mengalami degradasi lahan (Utama, 2023). Memanfaatkan limbah pertanian dan industri tidak hanya dapat mengurangi pencemaran lingkungan tetapi juga dapat memberikan nilai tambah ekonomi bagi petani. Dalam situasi ini, pemanfaatan limbah endapan asam fosfat dan Limbah Kapur ZA II sebagai bahan baku pupuk SP-15 menjadi sangat penting karena kebutuhan untuk mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia yang semakin mahal dan terbatas.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi potensi pemanfaatan limbah endapan asam fosfat dan Limbah Kapur ZA II sebagai bahan baku pembuatan pupuk SP-15. Diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan pertanian berkelanjutan dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat petani melalui peningkatan produktivitas pertanian.

2. KAJIAN TEORITIS

Dalam pertanian berkelanjutan, penggunaan limbah sebagai bahan baku pupuk organik telah menjadi prioritas utama. Pupuk SP-15 dapat dibuat dari limbah endapan asam fosfat dan kapur pertanian. Pupuk ini mengandung unsur hara yang diperlukan untuk pertumbuhan tanaman, yang dapat meningkatkan produktivitas pertanian. Memahami sifat dan proses pengolahan limbah yang akan digunakan sangat penting untuk kajian ini. Proses industri sering menyebabkan endapan asam fosfat yang tinggi mengandung fosfor. Salah satu unsur hara yang paling penting bagi tanaman adalah fosfat, yang bertanggung jawab atas fotosintesis dan pembentukan akar (Setiawan et al., 2020). Sebuah penelitian yang dilakukan oleh Setiawan et al. menunjukkan bahwa limbah industri asam fosfat dapat diproses dengan cara yang mengurangi kadar fluoride dan COD. Hal ini menunjukkan bahwa limbah ini dapat dimanfaatkan dengan baik dengan metode yang tepat. Sebaliknya,

limbah kapur pertanian, yang biasanya berasal dari proses pengolahan tanah, dapat meningkatkan pH tanah dan memperbaiki strukturnya. Kapur juga merupakan sumber penting kalsium tanaman (R, 2023).

Penggunaan limbah pertanian untuk membuat pupuk organik dapat meningkatkan produktivitas tanaman dengan memberikan nutrisi yang dibutuhkan tanaman (RENSA, 2023). Oleh karena itu, pupuk yang kaya akan unsur hara dan meningkatkan kualitas tanah dapat dibuat dengan menggabungkan limbah endapan asam fosfat dan limbah kapur pertanian. Proses membuat pupuk dari limbah ini membutuhkan teknik dekomposisi yang efektif. Penelitian oleh Pramono menunjukkan bahwa teknik dekomposisi yang efektif dapat meningkatkan kualitas pupuk organik yang dibuat dari limbah ternak dan juga dapat diterapkan pada limbah pertanian (Pramono, 2024). Limbah dapat diubah menjadi pupuk berkualitas tinggi dengan metode yang tepat, yang dapat meningkatkan hasil pertanian dan mendukung keberlanjutan lingkungan. Sangat penting untuk meningkatkan kesadaran masyarakat tentang penggunaan limbah sebagai pupuk organik. Sebuah penelitian oleh Khurniyati et al. menunjukkan bahwa pengetahuan dan keterampilan petani dalam memanfaatkan limbah dapat ditingkatkan melalui pelatihan dalam pengolahan limbah kotoran sapi menjadi pupuk bokashi (Khurniyati et al., 2022).

Hal ini sejalan dengan upaya untuk meningkatkan kesadaran masyarakat akan pentingnya pengelolaan limbah dan bagaimana hal itu berdampak pada lingkungan. Secara keseluruhan, jika pupuk SP-15 dibuat dari limbah endapan asam fosfat dan limbah Kapur ZA II, itu dapat meningkatkan produktivitas pertanian dan menyelesaikan masalah limbah dan mendukung pertanian berkelanjutan.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan menggunakan data primer yang diperoleh dari penelitian secara langsung. Tahapan awal penelitian untuk mencari data primer dimulai dengan pengambilan sampel di lokasi penyimpanan, melakukan uji kandungan fosfat (P_2O_5), dan kadar air (H_2O) pada bahan baku, menentukan banyaknya variasi dan melakukan perhitungan untuk consumption rate tiap variasi. Setelah mengetahui jumlah variasi dan consumption rate nya, dapat dilanjutkan ke tahap pencampuran dan pembentukkan pupuk menjadi butiran granul. Tahapan terakhir melakukan uji kimia dan uji fisika pada pupuk yang sudah jadi agar diketahui kandungan dan sifat fisiknya. Pada tahapan terakhir parameter yang di uji adalah kandungan fosfat (P_2O_5), Sulfur (S), dan Kalsium Oksida (CaO). Serta terdapat uji fisik yaitu uji ukuran

pada pupuk menggunakan mesh ukuran 4 dan 10, uji higroskopis untuk mengetahui seberapa besar kemampuan pupuk dapat menyerap atau mengikat uap air dari udara bebas

Metode Gravimetri

Metode gravimetri merupakan salah satu teknik analisis yang digunakan untuk menentukan kadar air (H₂O) dan kandungan sulfur dalam suatu sampel. Metode ini didasarkan pada pengukuran perubahan berat sampel sebelum dan sesudah perlakuan tertentu, sehingga memberikan informasi yang akurat mengenai komponen yang diukur.

a. Metode Gravimetri untuk Uji Kadar Air

Uji kadar air dengan metode gravimetri dilakukan dengan cara mengeringkan sampel dalam oven pada suhu tertentu hingga beratnya konstan. Proses ini melibatkan beberapa langkah, yaitu:

- Pengambilan Sampel : Sampel yang akan diuji diambil dan ditimbang untuk mendapatkan berat awal.
- Pengeringan : Sampel kemudian ditempatkan dalam oven pada suhu yang telah ditentukan (60°C) selama 5 jam untuk memastikan semua air dalam sampel menguap.
- Penimbangan Ulang: Setelah proses pengeringan, sampel ditimbang kembali untuk mendapatkan berat akhir.
- Perhitungan Kadar Air : Kadar air dapat dihitung dengan rumus:

$$\frac{(\text{Berat Sampel} + \text{Wadah Sebelum Oven} - \text{Berat Sampel} + \text{Wadah Setelah Oven})}{\text{Berat Sampel}} \times 100$$

Proses ini memberikan hasil yang akurat dan dapat diulang, sehingga metode gravimetri sering digunakan dalam analisis kadar air pada berbagai jenis bahan, termasuk makanan dan bahan kimia (Safitri, 2024; Kurniawati, 2023).

b. Metode Gravimetri untuk Uji Kandungan Sulfur

Analisis kandungan sulfur juga dapat dilakukan dengan metode gravimetri. Prosedur umumnya meliputi langkah-langkah berikut:

- Pengambilan Sampel : Sampel yang mengandung sulfur diambil dan ditimbang.
- Pengolahan Sampel : Sampel diproses dengan menggunakan reagen tertentu yang dapat mengendapkan sulfur. Misalnya, sulfur dapat diendapkan sebagai barium sulfat (BaSO₄) dengan menambahkan larutan barium klorida (BaCl₂) ke dalam larutan yang mengandung sulfur.

- Filtrasi dan Pengeringan : Endapan yang terbentuk kemudian difiltrasi, dicuci, dan dikeringkan dalam oven untuk menghilangkan kelembaban.
- Penimbangan Endapan : Setelah pengeringan, endapan ditimbang untuk mendapatkan berat akhir (W3).
- Perhitungan Kandungan Sulfur : Kandungan sulfur dalam sampel dapat dihitung berdasarkan berat endapan yang diperoleh, menggunakan rumus stoikiometri yang sesuai.

Metode gravimetri untuk analisis sulfur memiliki kelebihan dalam hal akurasi dan spesifisitas, serta dapat dilakukan dengan peralatan yang relatif sederhana (Pogoa & Tahril, 2021).

Metode gravimetri merupakan teknik yang efektif untuk menentukan kadar air dan kandungan sulfur dalam berbagai jenis sampel. Dengan prosedur yang sistematis dan perhitungan yang tepat, metode ini dapat memberikan hasil yang akurat dan dapat diandalkan. Penggunaan metode ini dalam analisis laboratorium sangat penting, terutama dalam konteks pengujian kualitas bahan baku dan produk akhir.

Metode Spektrofotometri

Metode spektrofotometri adalah teknik analisis yang digunakan untuk mengukur konsentrasi suatu zat dalam larutan berdasarkan kemampuan zat tersebut untuk menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu. Dalam konteks pengujian kandungan fosfat, metode spektrofotometri UV-Vis (Ultraviolet-Visible) menjadi salah satu metode yang umum digunakan karena keakuratannya dan kemudahan dalam pelaksanaannya. (Maulana, 2024)

Metode spektrofotometri UV-Vis bekerja berdasarkan prinsip bahwa setiap senyawa kimia memiliki spektrum penyerapan cahaya yang unik. Ketika cahaya melewati larutan yang mengandung fosfat, sebagian cahaya akan diserap oleh ion fosfat, dan sisanya akan diteruskan. Besarnya penyerapan cahaya ini berbanding lurus dengan konsentrasi fosfat dalam larutan, sesuai dengan hukum Beer-Lambert. (Wijaya et al. 2022)

a) Prosedur Pengujian Fosfat

- Persiapan Sampel : Sampel air yang akan diuji diambil dan disiapkan. Jika diperlukan, sampel dapat disaring untuk menghilangkan partikel padat yang dapat mempengaruhi hasil analisis.

- Reaksi Pembentukan Kompleks : Untuk meningkatkan sensitivitas pengukuran fosfat, sering kali digunakan reagen seperti ammonium molybdate yang bereaksi dengan fosfat untuk membentuk kompleks molibdat. Kompleks ini kemudian dapat berwarna dan lebih mudah diukur absorbansinya. Reaksi ini biasanya dilakukan dalam kondisi asam.
- Pengukuran Absorbansi : Setelah kompleks terbentuk, larutan diukur menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang yang sesuai (biasanya sekitar 880 nm untuk kompleks fosfat-molibdat). Hasil pengukuran absorbansi dicatat.
- Perhitungan Konsentrasi Fosfat : Dengan menggunakan kurva kalibrasi yang dibuat dari larutan standar fosfat, konsentrasi fosfat dalam sampel dapat dihitung berdasarkan nilai absorbansi yang diperoleh.

Metode spektrofotometri UV-Vis merupakan alat yang sangat berguna dalam analisis kandungan fosfat. Dengan prinsip dasar yang kuat dan prosedur yang relatif sederhana, metode ini memberikan hasil yang akurat dan dapat diandalkan, sehingga banyak digunakan dalam berbagai bidang, termasuk lingkungan, pertanian, dan industri.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Kandungan Fosfat (P_2O_5) dan Kadar Air (H_2O) Pada Bahan Baku

Tabel 1. Hasil uji kadar air (H_2O) pada bahan baku

HASIL UJI H ₂ O						
No	Jenis Sampel	Berat sampel (gram)	Berat wadah (gram)	Berat sampel+wadah (gram)	Berat sampel+wadah setelah oven (gram)	Nilai Kadar H ₂ O (%)
1	Endapan Asam Fosfat	5,0788	25,0343	30,1131	29,6219	9,67
2	Kapur ZA II	5,0399	25,3176	30,3575	29,3928	19,14

Berdasarkan hasil uji kadar H_2O yang telah dilakukan pada bahan baku, dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara kadar air pada kedua sampel. Limbah Kapur ZA II memiliki kadar air yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan endapan asam fosfat. Hal ini mengindikasikan bahwa kapur memiliki sifat higroskopis yang lebih kuat, artinya kapur lebih mudah menyerap dan mengikat molekul air. Perbedaan kadar air ini akan berdampak pada sifat fisik dan kimia dari kedua bahan tersebut. Misalnya, kapur dengan kadar air yang tinggi cenderung lebih mudah

menggumpal, lebih sulit mengalir, dan memiliki reaktivitas yang berbeda dibandingkan dengan kapur yang kering. Maka dari itu hasil uji tersebut akan dijadikan pertimbangan dalam penentuan Consumption Rate pada tiap variasi campuran pembuatan pupuk.

Tabel 2. Hasil uji P₂O₅ pada bahan baku

Hasil Uji P₂O₅ Spektrofotometri				
No	Jenis Sampel	Absorbansi	Fp	Kandungan P₂O₅ (%)
1	Larutan Standar	0,5807	0,5807	-
2	Sludge Endapan Asam Fosfat 1	0,7949	0,7949	33,60
3	Sludge endapan asam fosfat2	0,769	0,769	32,51
Rata-rata				33,05

Berdasarkan hasil uji spektrofotometri yang telah dilakukan, diperoleh rata-rata kandungan P₂O₅ pada sampel Sludge endapan asam fosfat sebesar 33,05%. Angka ini mengindikasikan bahwa sampel Sludge endapan asam fosfat memiliki kandungan fosfor yang cukup tinggi. Hasil ini menunjukkan bahwa sampel Sludge endapan asam fosfat memiliki potensi sebagai sumber fosfor, dan sangat memungkinkan untuk dimanfaatkan untuk bahan baku pembuatan pupuk SP – 15. Variasi kadar P₂O₅ antar sampel Sludge endapan asam fosfat relatif kecil, menunjukkan tingkat homogenitas yang cukup baik.

Variasi Campuran Bahan Baku dan Penentuan Consumption Rate

Tabel 3. Hasil penentuan variasi dan consumption rate

CAMPURAN 1				
ROP+Kapur ZA II				
Variasi	Jenis Bahan	Adbk (Gram)	Adbb (Gram)	Consumption Rate
Variasi 1	Sludge Endapan Asam Fosfat	181,5286246	200,97	0,4538
	Kpur ZA II	218,4713754	270,19	0,5462
	Total	400	471,15	1
Variasi 2	Sludge Endapan Asam Fosfat	240	265,70	0,6
	Kpur ZA II	160	197,88	0,4
	Total	400	463,57	1
Variasi 3	Sludge Endapan Asam Fosfat	200	221,4142471	0,5
	Kpur ZA II	200	247,3449156	0,5
	Total	400	468,7591627	1

Variasi 4	Sludge Endapan Asam Fosfat	220	243,5556718	0,55
	Kpur ZA II	180	222,610424	0,45
	Total	400	466,1660958	1

Data yang disajikan menunjukkan hasil percobaan pencampuran antara Sludge Endapan Asam Fosfat dan Kapur ZA II dalam berbagai proporsi. Terdapat empat variasi campuran dengan total berat 400 gram untuk setiap variasi. Variasi ini dilakukan dengan mengubah proporsi antara Sludge Endapan Asam Fosfat dan Kapur ZA II. Tujuan dari pembuatan variasi ini adalah untuk mencari perbandingan yang optimal antara kedua bahan tersebut untuk bahan baku pembuatan pupuk SP – 15. Data yang diperoleh mencakup berat masing-masing bahan dalam kondisi kering (Adbk) dan basah (Adbb), serta rasio penggunaan (consumption rate) dari masing-masing bahan. Dengan menganalisis data ini, dapat diperoleh informasi mengenai pengaruh perubahan proporsi terhadap sifat campuran akhir.

Hasil Proses Granulasi Pupuk

Tabel 4. Hasil proses granulasi pada tiap variasi

Sludge Endapan Asam Fosfat+Kapur ZA II											
No	Variasi	Berat wadah kosong (gram)	Sampel Awal	Terjadi Granulasi	Granulasi (Menit.deti)	Berat Air (gram)			Wadah+Sampel Sebelum Oven	Berat Sampel Setelah Oven (gr)	Berat Pupuk (gr)
						Awal	Akhir	Total			
1	Variasi 1	85,85	27,66		24.43	1076,83	982,3	94,53	208,04	427,01	341,16
2	Variasi 2	85,35			17.05	982,37	911,83	70,54	155,89	439,15	353,8
3	Variasi 3	86,02			18.07	911,75	812,43	99,32	599,81	427,55	341,53
4	Variasi 4	85,85	240,00		21.19	1376,54	1246,4	130,14	599,51	420,49	334,64

Data yang disajikan menunjukkan hasil percobaan granulasi campuran Sludge Endapan Asam Fosfat dan Kapur ZA II dalam empat variasi berbeda. Variabel yang diamati meliputi berat awal sampel, waktu granulasi, jumlah air yang menguap, dan berat akhir sampel setelah pengeringan. Tujuan dari percobaan ini kemungkinan adalah untuk menentukan kondisi optimal granulasi yang menghasilkan granul dengan kualitas terbaik.

Dari data yang diperoleh, dapat dilihat bahwa waktu granulasi bervariasi antara 17-24 menit. Hal ini menunjukkan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi granul yang diinginkan berbeda-beda untuk setiap variasi. Selain itu, jumlah air yang menguap juga bervariasi, yang mengindikasikan perbedaan dalam kandungan air awal masing-masing sampel atau tingkat penguapan air selama proses granulasi.

Hasil Uji Kandungan Fosfat (P₂O₅), Kadar Air (H₂O), Sulfur (S), dan Kalsium Oksida (CaO) Pada Hasil Akhir Pembuatan Pupuk

Tabel 5. Hasil Uji Kandungan P₂O₅ pada hasil akhir pembuatan pupuk

1. Uji Kandungan P ₂ O ₅				
No	Variasi	Abs	Kandungan P ₂ O ₅ (%)	Rata-rata Kandungan P ₂ O ₅ (%)
1	Standar	0,5897	-	
2	Variasi 1A	0,4203	18,3668	18,56
3	Variasi 1B	0,4290	18,7470	
4	Variasi 2A	0,5829	25,4723	25,71
5	Variasi 2B	0,594	25,9574	
6	Variasi 3A	0,523	22,8547	22,97
7	Variasi 3B	0,5282	23,0820	
8	Variasi 4A	0,5269	23,0252	22,84
9	Variasi 4B	0,5186	22,6625	

Berdasarkan data yang disajikan, terlihat adanya variasi yang cukup signifikan pada kandungan P₂O₅ pada berbagai sampel. Sampel standar merupakan sampel referensi. Sampel variasi 1A dan 1B menunjukkan kandungan P₂O₅ yang lebih rendah dibandingkan dengan variasi lainnya. Sementara itu, variasi 2A dan 2B memiliki kandungan P₂O₅ yang paling tinggi. Variasi 3 dan 4 memiliki kandungan P₂O₅ yang berada di antara variasi 1 dan 2.

Perbedaan kandungan P₂O₅ ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti perbedaan komposisi limbah endapan asam fosfat dan kapur ZA II yang digunakan pada setiap variasi, perbedaan metode pencampuran, atau faktor lingkungan selama proses pembuatan pupuk. Hasil ini mengindikasikan bahwa komposisi campuran limbah endapan asam fosfat dan kapur ZA II sangat mempengaruhi kandungan P₂O₅ pada produk akhir.

Tabel 6. Hasil uji H₂O pada hasil akhir pembuatan pupuk

2. Uji H ₂ O						
No	Variasi	Berat sampel (gram)	Berat wadah (gram)	Berat Sampel+Wadah (gram)	Berat Sampel+Wadah Setelah Oven (gram)	Nilai Kadar H ₂ O (%)
1	Variasi 1	5,0495	25,3123	30,3618	30,3466	0,30
2	Variasi 2	5,0052	25,5061	30,5113	30,5091	0,04
3	Variasi 3	5,0236	24,7155	29,7391	29,7337	0,11
4	Variasi 4	5,02	25,0066	30,0266	30,0234	0,06

Data yang disajikan menunjukkan hasil pengukuran kadar air pada berbagai variasi campuran limbah endapan asam fosfat dan kapur ZA II. Dari hasil pengukuran, terlihat bahwa kadar air pada semua variasi relatif rendah, berkisar antara 0,04% hingga 0,30%. Hal ini mengindikasikan bahwa proses pengeringan sampel sebelum dilakukan analisis telah dilakukan dengan baik, sehingga diperoleh sampel yang cukup kering.

Kadar air yang rendah pada sampel ini memiliki implikasi yang penting. Pertama, kadar air yang rendah akan memperpanjang umur simpan sampel, karena air dapat menjadi media pertumbuhan mikroorganisme dan mempercepat proses degradasi. Kedua, kadar air yang rendah juga dapat mempengaruhi sifat fisik dari produk akhir, seperti kepadatan dan kekuatan granul.

Tabel 7. Hasil uji kandungan Sulfur pada hasil akhir pembuatan pupuk

2. Uji Sulfur							
No	Variasi	Berat Sampel (gr)	Berat Cawan (gr)	Berat Kertas Saring + Sampel + cawan Setelah Oven (gram)	Berat BaSO ₄ (gr)	Kandungan Sulfur (%)	Rata-rata Kandungan Sulfur (%)
1	Variasi 1A	1,0034	35,9789	36,0172	0,0383	13,11	12,46600151
2	Variasi 1B	1,0742	35,7253	35,7623	0,037	11,83	
3	Variasi 2A	1,0587	34,8552	34,8941	0,0389	12,62	11,74066559
4	Variasi 2B	1,0017	37,3776	37,4093	0,0317	10,87	
5	Variasi 3A	1,0811	38,1372	38,1634	0,0262	8,32	10,48383842
6	Variasi 3B	1,0751	40,2199	40,2595	0,0396	12,65	
7	Variasi 4A	1,0581	37,5445	37,5895	0,045	14,60	12,69967423
8	Variasi 4B	1,0017	37,1634	37,1949	0,0315	10,80	

Berdasarkan data yang ada, dapat disimpulkan bahwa pemanfaatan limbah endapan asam fosfat dan kapur ZA II sebagai bahan baku pembuatan pupuk SP memiliki potensi untuk menghasilkan produk dengan kandungan sulfur yang bervariasi. Hal ini memberikan fleksibilitas dalam menghasilkan produk yang sesuai dengan kebutuhan tanaman yang berbeda. Namun, perlu dilakukan optimasi komposisi campuran untuk mendapatkan produk dengan kandungan sulfur yang optimal dan tidak merugikan tanaman

Tabel 8. Hasil uji kandungan CaO pada hasil akhir pembuatan pupuk

2. Uji Ca							
No	Variasi	Berat Sampel (gr)	Titrasi KMnO4 (ml)	Kadar CaO (%)	Kadar CaO (%)		
1	Variasi 1A	1,08	8,5	22,06851852	22,40897624	Normalitas KMnO4	0,1
2	Variasi 1B	1,06	8,6	22,74943396			
3	Variasi 2A	1,077	8,9	23,17140204	23,6813873		
4	Variasi 2B	1,02	8,8	24,19137255			
5	Variasi 3A	1,01	9,05	25,1249505	24,77792079	Faktor Pengenceran	10
6	Variasi 3B	1,01	8,8	24,43089109			
7	Variasi 4A	1,03	8,2	22,3231068	22,8682534		
8	Variasi 4B	1	8,35	23,4134			

Data yang disajikan menunjukkan hasil analisis kadar CaO pada berbagai variasi campuran limbah endapan asam fosfat dan kapur ZA II menggunakan metode titrasi dengan KMnO₄. Hasil analisis menunjukkan adanya variasi yang cukup signifikan pada kadar CaO pada setiap variasi campuran. Kadar CaO yang diperoleh berkisar antara 22% hingga 25%. Variasi ini mengindikasikan bahwa komposisi campuran kedua bahan baku tersebut sangat berpengaruh terhadap kandungan CaO pada produk akhir.

Dapat disimpulkan bahwa pemanfaatan limbah endapan asam fosfat dan kapur ZA II sebagai bahan baku pembuatan pupuk SP memiliki potensi untuk menghasilkan produk dengan kandungan CaO yang cukup tinggi. Hal ini memberikan fleksibilitas dalam menghasilkan produk yang sesuai dengan kebutuhan tanaman yang berbeda. Namun, perlu dilakukan optimasi komposisi campuran untuk mendapatkan produk dengan kandungan CaO yang optimal dan tidak merugikan tanaman.

Hasil Uji Fisik Pada Hasil Akhir Pembuatan Pupuk

Tabel 9. Hasil uji ukuran pupuk pada hasil akhir pembuatan pupuk

1. Uji Ukuran Pupuk								
No	Variasi	Berat Sampel (gr)			Berat Sampel Total (gr)	Persentase ukuran butir (%)		
		<10 Mesh	4-10 mesh	>4 mesh		<10 Mesh	4-10 mesh	>4 mesh
1	Variasi 1	97,43	179,03	58,78	335,24	29,06	53,40	17,53
2	Variasi 2	38,85	237,98	76,52	353,35	10,99	67,35	21,66
3	Variasi 3	87,14	146,86	107,05	341,05	25,55	43,06	31,39
4	Variasi 4	64,82	215,7	54,25	334,77	19,36	64,43	16,21

Dari data yang disajikan, terlihat bahwa proporsi partikel berukuran <10 mesh bervariasi antara 10,99% hingga 29,06%, proporsi partikel berukuran 4-10 mesh bervariasi antara 43,06% hingga 67,35%, dan proporsi partikel berukuran >4 mesh bervariasi antara 16,21% hingga 21,66%. Variasi ini menunjukkan bahwa setiap variasi memiliki karakteristik distribusi ukuran partikel yang berbeda.

Variasi ukuran partikel ini dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti komposisi bahan baku, waktu pengadukan, jumlah air yang ditambahkan, dan kondisi pengeringan. Ukuran partikel yang seragam umumnya diinginkan dalam industri pupuk karena dapat mempengaruhi sifat fisik dan kimia pupuk, seperti laju pelarutan, daya sebar, dan kemampuan menyerap air.

Tabel 10. Hasil uji hardness pada hasil akhir pembuatan pupuk

4. Uji Hardness				
Sampel ke-n	Nilai Hard (kg)			
	Variasi 1	Variasi 2	Variasi 3	Variasi 4
1	0,43	0,37	0,65	4,12
2	0,83	0,52	0,37	9,98
3	0,35	7,92	7,52	2,26
4	0,44	0,5	0,33	6,21
5	2,88	14,32	0,4	9,15
6	0,32	0,76	2	3,29
7	0,31	0,41	4,48	4,96
8	0,43	13,79	2,82	10,26
9	0,31	0,56	3,35	8,36
10	5,48	0,33	0,56	2,24
11	0,35	7,59	3,74	9,72
12	0,48	0,82	1,57	5,42
13	0,45	0,44	0,37	3,32

14	0,36	0,55	2,17	10,55
15	0,54	0,67	6,3	5,74
16	13,36	0,3	3,05	6,94
17	2,65	0,4	5,84	3,95
18	0,43	0,35	3,34	1,22
19	0,33	0,65	1,05	1,74
20	0,45	9,51	0,38	9,59
Rata-rata	1,559	3,038	2,5145	5,951

Dari data yang disajikan, terlihat bahwa variasi 4 secara umum memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan variasi lainnya. Hal ini mengindikasikan bahwa komposisi pada variasi 4 mungkin menghasilkan matriks granul yang lebih padat dan kuat. Sebaliknya, variasi 1 dan 2 cenderung memiliki nilai kekerasan yang lebih rendah, yang mungkin mengindikasikan granul yang lebih rapuh.

Variasi kekerasan yang cukup signifikan terlihat pada setiap variasi campuran. Hal ini mengindikasikan bahwa komposisi campuran kedua bahan baku tersebut sangat berpengaruh terhadap kekerasan produk akhir. Kekerasan yang tinggi pada beberapa variasi menunjukkan kekuatan mekanik granul yang baik, yang dapat meningkatkan daya tahan granul selama penanganan dan penyimpanan. Namun, kekerasan yang terlalu tinggi juga dapat mengurangi daya larut pupuk.

Tabel 11. Hasil uji higroskopis pada hasil akhir pembuatan pupuk

2. Uji Higroskopis								
No	Variasi	Berat Wadah (gr)	Berat sampel (gram)	Berat Sampel + wadah (gr)	Berat Sampel Setelah Oven (gram)	berat selisih	% Higroskopis	% Rata-rata Higroskopis
1	Variasi 1A	40,4423	5,0432	45,4855	45,5086	0,02	0,46	0,43
2	Variasi 1B	56,0625	5,0052	61,0677	61,0894	0,02	0,43	
3	Variasi 1C	57,5954	5,0321	62,6275	62,651	0,02	0,47	
4	Variasi 1D	49,4351	5,6632	55,0983	55,1306	0,03	0,57	
5	Variasi 1E	54,22	5,0381	59,2581	59,2697	0,01	0,23	
6	Variasi 2A	75,0321	5,0532	80,0853	80,1301	0,04	0,89	1,25
7	Variasi 2B	67,4691	5,0675	72,5366	72,5786	0,04	0,83	
8	Variasi 2C	72,0134	5,0366	77,05	77,1751	0,13	2,48	

9	Variasi 2D	72,5365	5,0636	77,6001	77,6495	0,05	0,98	
10	Variasi 2E	59,8611	5,0723	64,9334	64,9888	0,06	1,09	
11	Variasi 3A	40,4548	5,0094	45,4642	45,4947	0,03	0,61	0,61
12	Variasi 3B	56,0826	5,0706	61,1532	61,1787	0,03	0,50	
13	Variasi 3C	57,6108	5,0143	62,6251	62,6593	0,03	0,68	
14	Variasi 3D	50,0553	5,0557	55,111	55,143	0,03	0,63	
15	Variasi 3E	54,2264	5,0326	59,259	59,2902	0,03	0,62	
16	Variasi 4A	75,014	5,0254	80,0394	80,1	0,06	1,21	1,15
17	Variasi 4B	67,4572	5,055	72,5122	72,567	0,05	1,08	
18	Variasi 4C	72,0318	5,0828	77,1146	77,1711	0,06	1,11	
19	Variasi 4D	72,5454	5,045	77,5904	77,655	0,06	1,28	
20	Variasi 4E	59,8783	5,0512	64,9295	64,9823	0,05	1,05	

Data hasil uji higroskopis yang Anda presentasikan memberikan informasi penting mengenai kemampuan sampel pupuk untuk menyerap kelembaban dari udara. Hasil uji menunjukkan adanya variasi tingkat higroskopis pada berbagai variasi campuran limbah endapan asam fosfat dan kapur ZA II. Persentase higroskopis yang terukur berkisar antara 0,23% hingga 2,48%. Variasi ini mengindikasikan bahwa komposisi campuran kedua bahan baku tersebut sangat berpengaruh terhadap sifat higroskopis produk akhir.

Secara umum, sampel-sampel menunjukkan tingkat higroskopis yang relatif rendah. Namun, beberapa variasi, terutama pada variasi 2, menunjukkan nilai higroskopis yang lebih tinggi dibandingkan variasi lainnya. Hal ini mengindikasikan bahwa komposisi pada variasi 2 mungkin menghasilkan produk yang lebih mudah menyerap kelembaban. Tingkat higroskopis yang tinggi dapat menjadi masalah karena dapat mempengaruhi kualitas penyimpanan dan penanganan pupuk. Pupuk yang terlalu higroskopis dapat menggumpal, menjadi keras, atau bahkan mencair, sehingga sulit untuk diaplikasikan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian mengenai pemanfaatan limbah endapan asam fosfat dan limbah kapur ZA II sebagai bahan baku pembuatan pupuk SP-15 menunjukkan bahwa kedua jenis limbah ini memiliki potensi besar untuk meningkatkan produktivitas pertanian serta mendukung keberlanjutan lingkungan. Limbah-limbah tersebut dapat diolah menjadi pupuk organik yang kaya akan unsur hara, terutama fosfor, yang sangat dibutuhkan oleh tanaman. Dengan menggunakan metode analisis yang tepat, seperti gravimetri dan spektrofotometri, penelitian ini mengungkapkan bahwa limbah endapan asam fosfat mengandung P_2O_5 yang tinggi, mencapai 33,05%, sedangkan limbah kapur ZA II memiliki sifat higroskopis yang baik, yang dapat meningkatkan kualitas pupuk akhir. Oleh karena itu, disarankan untuk mengembangkan teknologi pengolahan limbah yang lebih efisien dan ramah lingkungan serta menerapkan sistem pengelolaan limbah terpadu di tingkat komunitas untuk meningkatkan kesadaran masyarakat. Selain itu, penelitian lebih lanjut tentang dampak jangka panjang penggunaan pupuk ini terhadap kesuburan tanah dan kesehatan tanaman sangat diperlukan. Kerja sama antara akademisi, pemerintah, dan industri juga harus ditingkatkan untuk mendukung penelitian dan pelatihan bagi petani dalam pengolahan limbah menjadi pupuk berkualitas tinggi. Dengan langkah-langkah ini, pemanfaatan limbah endapan asam fosfat dan kapur ZA II tidak hanya dapat mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia tetapi juga memberikan nilai tambah ekonomi bagi petani serta berkontribusi pada pengelolaan lingkungan yang lebih baik.

DAFTAR REFERENSI

- Bator, R. J., Bryan, A. D., & Schultz, P. W. (2011). Who gives a hoot? Intercept surveys of litterers and disposers. *Environment and Behavior*, 43(3), 295–315. <https://doi.org/10.1177/0013916509356884>.
- Khurniyati, M., Nurhayati, A., Pamungkas, P., & Rohim, A. (2022). Pendampingan masyarakat di desa Panditan dalam memanfaatkan kotoran sapi menjadi pupuk bokashi. *Logista: Jurnal Ilmiah Pengabdian Kepada Masyarakat*, 6(2), 91.
- Kurniawati, N. (2023). Analisis kadar air dan iodium pada garam konsumsi. *Bharasumba*, 2(02), 157–164.
- Maulana, I. (2024). Studi kualitas produk pertalite pada proses penimbunan dengan metoda spektrofotometri UV–Vis. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 13(2), 184–192.
- Muliarta, I., Sukmadewi, D., Selangga, ., Kariasa, I., Prawerti, D., Parwata, I., ... & Landra, I. (2023). Perbaikan kesuburan tanah melalui pengolahan limbah pertanian di subak Telun Ayah, Bali. *Logista: Jurnal Ilmiah Pengabdian Kepada Masyarakat*, 7(1), 7.

- Pogoa, M., & Tahril, T. (2021). Analisis kandungan sulfur pada air panas di kaki gunung desa Sedoa Kecamatan Lore Utara Kabupaten Poso. *Media Eksakta*, 17(2), 98–101.
- Pramono, E. (2024). Teknik dekomposisi dalam pembuatan pupuk organik dari limbah ternak sapi. *JPPF*, 3(1), 239.
- R, S. (2023). Edukasi pemanfaatan limbah kotoran ternak berbasis zero waste pada usaha peternakan sapi potong di desa Tulabolo Barat. *Jurnal Abdi Insani*, 10(4), 2314–2323.
- Rahmah, M. (2022). Edukasi pemanfaatan limbah organik rumah tangga menjadi pupuk organik berbasis mikroba di desa Mammi, Polewali Mandar, Sulawesi Barat. *JAM*, 1(2), 24–32.
- Rensa, R. (2023). Efektivitas program pembuatan pupuk organik padat dari limbah kulit kakao terhadap produktivitas kakao petani di desa Saludengen Kecamatan Bambang. *Jurnal Agroterpadu*, 2(1), 25.
- Safitri, S. (2024). Validasi dan verifikasi pengukuran kadar air gabah menggunakan grain moisture tester dan infrared moisture balance. *Gorontalo Agriculture Technology Journal*, 19.
- Setiawan, A., Arianingtyas, N., Mayangsari, N., & Dewi, T. (2020). Penyisihan fluoride dan COD air limbah industri asam fosfat menggunakan kombinasi presipitasi dan elektrokoagulasi. *Metana*, 16(2), 47–54.
- Utama, W. (2023). Pembuatan pupuk organik menuju peningkatan produktivitas lahan pertanian desa Pandanan Kabupaten Bangkalan. *Sewagati*, 8(1), 1201–1210.
- Wijaya, N., Sari, A., & Mahmiah, M. (2022). Pengaruh konsentrasi fosfat dan nitrat terhadap kelimpahan fitoplankton di perairan mangrove Gunung Anyar, Surabaya. *Jurnal Pertanian Terpadu*, 10(1), 64–77.