



Perubahan Fraksi Kalium Tanah Sulfat Masam melalui Strategi Pengelolaan Air dan Substitusi Parsial NPK dengan *Decanter solid*

*Changes in Potassium Fractions of Acid Sulfate Soil through Water Management Strategies and Partial Substitution of NPK with *Decanter solid**

Author(s): Karisma Tia Krisba¹; Nukhak Nufita Sari^{1*}; Andin Muhammad Abduh²; Ronny Mulyawan¹

(1) Jurusan Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru

(2) Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru

*Corresponding author: nukhak.sari@ulm.ac.id

Submitted: 03 Mar 2026

Accepted: 17 Apr 2026

Published: 30 Sep 2026

ABSTRAK

Peningkatan luas perkebunan kelapa sawit di Indonesia dapat meningkatkan volume limbah industri. Salah satu limbah yang dihasilkan adalah *decanter solid*, yang dapat menurunkan kualitas lingkungan. Disisi lain, *decanter solid* mengandung kalium (K), sehingga dapat dimanfaatkan sebagai pembenah tanah organik. Limbah ini dapat memperbaiki lahan sulfat masam yang memiliki permasalahan seperti rendahnya ketersediaan dan efisiensi serapan hara. Unsur seperti K tidak tersedia akibat proses oksidasi-reduksi dan relatif mudah tercuci akibat KTK yang rendah. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh aplikasi *decanter solid* terhadap fraksi K pada tanah sulfat masam dengan teknik penggenangan, serta mengetahui efektivitasnya *decanter solid* dalam mensubstitusi NPK anorganik. Penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap (RAL), dua faktor yaitu pemupukan NPK dengan kombinasi *decanter solid* dan perbedaan penggenangan. Parameter tanah yang dianalisis K-tersedia menggunakan ekstrak NH_4OAc pH 7 (1N), K-total menggunakan ekstrak HCl 25%, dan Serapan-K. Hasil penelitian mengindikasikan bahwa dinamika K pada tanah sulfat masam lebih ditentukan oleh input bahan organik dibandingkan kondisi hidrologi semata. Penggenangan tidak secara langsung memodifikasi fraksi K, namun berperan dalam mengubah respons tanaman terhadap K yang tersedia. Aplikasi *decanter solid* secara konsisten meningkatkan cadangan K tanah, khususnya pada fraksi K-total, yang mencerminkan perbaikan status hara jangka menengah. Lebih lanjut, respons serapan K menunjukkan adanya efek sinergis antara tingkat substitusi *decanter solid* dan kondisi penggenangan, yang mengindikasikan bahwa efisiensi pemanfaatan K tidak hanya bergantung pada ketersediaannya di tanah, tetapi juga pada interaksi proses biogeokimia yang dikendalikan oleh kondisi air.

Kata Kunci:

Amandemen organik;
Bentuk Kalium;
Decanter cake;
Penggenangan;
Substitusi NPK

ABSTRACT

Keywords:

Decanter cake;
Flooding;
NPK substitution;
Organic amendment;
Potassium fractions

The expansion of oil palm plantations in Indonesia has increased the volume of industrial waste. One of the major by-products is *decanter solid*, which can degrade environmental quality if not properly managed. However, *decanter solid* contains potassium (K) and therefore have potential as an organic soil amendment. This waste is particularly relevant for improving acid sulfate soils, which are characterized by low nutrient availability and poor nutrient uptake efficiency. In such soils, K availability is constrained by redox processes and is highly susceptible to leaching because of their low cation exchange capacity. This study aimed to evaluate the effect of *decanter solid* application on K fractions in acid sulfate soils under flooding conditions, as well as its effectiveness in partially substituting inorganic NPK fertilizers. The experiment employed a completely randomized design with two factors: NPK fertilization combined with *decanter solid* substitution levels and different flooding regimes. Soil parameters analyzed included available K (extracted with NH_4OAc at pH 7, 1N), total K (extracted with 25% HCl), and plant K uptake. The results indicate that K dynamics in acid sulfate soils are more strongly influenced by organic inputs than by hydrological conditions alone. Flooding did not directly alter K fractions but did influence plant responses to available K. The application of *decanter solid* consistently increased soil K reserves, particularly in the total K fraction, indicating an improvement in medium-term nutrient status. Furthermore, K uptake exhibited a synergistic interaction between *decanter solid* substitution levels and flooding conditions, suggesting that K use efficiency depends not only on its availability in the soil but also on biogeochemical processes regulated by water conditions.

PENDAHULUAN

Luas perkebunan kelapa sawit di Indonesia mencapai 16,01 juta ha pada tahun 2024, menimbulkan dampak pada peningkatan volume limbah industri, khususnya Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dan *decanter solid* (Direktorat Statistik Tanaman Pangan, 2024). *Decanter solid* merupakan limbah kelapa sawit dengan berat 41 kg/ton dan mengandung unsur hara esensial seperti nitrogen (2,42%), fosfor (0,51%), kalium (1,29%), kalsium (1,6%), dan magnesium (0,5%), yang berpotensi untuk dimanfaatkan kembali sebagai bahan pembenah tanah organik (Maryani, 2018; Tepsour et al., 2019). Pemanfaatan *decanter solid* menjadi strategis dalam upaya perbaikan lahan sulfat masam yang memiliki kendala biofisik yang kompleks.

Secara karakteristik, lahan sulfat masam memiliki kendala berupa kandungan pirit (FeS_2) yang jika teroksidasi akan mengakibatkan pH rendah serta meningkatkan kelarutan logam seperti Fe dan Mn hingga mencapai nilai toksik (Anda et al., 2015; Sari & Jayadi, 2022). Rendahnya pH menyebabkan ketersediaan unsur hara makro, terutama kalium (K) menjadi tidak optimal bagi tanaman karena cenderung mudah tercuci dari zona perakaran atau terperangkap dalam struktur mineral tanah sehingga sulit diserap (Nursanti & Defitri, 2024; Ratmini, 2019). Sebenarnya, unsur hara K memiliki peran fisiologis yang vital dalam pembentukan protein, karbohidrat, serta penguatan struktur jaringan tanaman (Karamina et al., 2022).

Kalium diserap dalam bentuk ion K^+ dimana unsur K dalam tanah berasal dari mineral-mineral yang terdiri dari feldspar, mika, illit, vermikulit, dan klorit (Giu et al., 2024). Menurut Handayanto et al., (2017), ketersediaan unsur K dalam tanah tergantung pada jumlah mineral yang tersedia di dalam tanah. Ketersediaan kalium pada lahan sulfat masam umumnya berada dalam bentuk tidak tersedia atau terfiksasi, sehingga pemupukan tambahan sangat diperlukan untuk mencegah penurunan produktivitas (Zhailybay et al., 2018). Penggunaan *decanter solid* sebagai substitusi pupuk NPK mampu memperbaiki ketersediaan hara K melalui pelepasan senyawa asam organik yang mengikat logam toksik dan melepaskan hara yang terikat (Manurung & Djs, 2021; Saputra & Sari, 2021). Selain pemupukan organik, pengelolaan lahan sulfat masam untuk budidaya tanaman juga dapat dioptimalkan melalui teknik penggenangan. Penggenangan berfungsi untuk menciptakan kondisi reduksi yang mencegah oksidasi lapisan sulfidik, sehingga penurunan pH tanah dapat dihambat dan kualitas lahan budidaya tanaman dapat ditingkatkan (Fahmi et al., 2018).

Meskipun potensi pemberian bahan organik dan teknik penggenangan telah diketahui, penggabungan antara aplikasi *decanter solid* sebagai substitusi pupuk kimia dengan teknik penggenangan terhadap dinamika hara kalium pada lahan sulfat masam masih memerlukan penelitian lebih lanjut. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh aplikasi *decanter solid* terhadap ketersediaan kalium, K-total, dan serapan kalium. Serta efektivitas substitusi pupuk NPK pada tanaman padi di lahan sulfat masam dengan kondisi tergenang. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan strategi pemupukan yang efisien dan berkelanjutan berbasis pemanfaatan limbah industri kelapa sawit.

METODOLOGI

Penelitian ini dilaksanakan dari November 2024 hingga Januari 2026 di rumah kaca Balai Penerapan Standar Instrumen Pertanian, Banjarbaru, Kalimantan Selatan. Analisis tanah dilakukan di Laboratorium Kimia dan Tanah, Jurusan Ilmu Tanah. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah sulfat masam dan *decanter solid*. Alat yang digunakan yaitu *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) dan *flamephotometer*. Penelitian ini menggunakan metode Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial, yaitu: dosis

kombinasi pupuk NPK 16-16-16 dan *decanter solid* terdiri dari 4 taraf perlakuan diulang sebanyak 3 kali, sehingga terdapat 24 satuan percobaan, yaitu: Faktor Pemupukan F₀: NPK 450 kg/ha; F₁: NPK 300 kg/ha + *Decanter solid* 2 ton/ha; F₂: NPK 150 kg/ha + *Decanter solid* 4 ton/ha; F₃: *Decanter solid* 6 ton/ha. Faktor penggenangan: W1 digenangi setinggi 10 cm; W2 digenangi setinggi 0 cm. Sebelum perlakuan diaplikasikan, dilakukan analisis tekstur (metode pipet), pH dan Eh (metode elektroda), serta kedalaman pirit (H₂O₂). Setelah perlakuan diaplikasikan, sampel tanah diambil pada fase panen dengan kedalaman 0-10 cm menggunakan *syringe* 50 ml. Sampel tanah diambil pada bagian tengah ember dekat dengan rhizosfer padi, kemudian tanah dimasukkan ke dalam plastik klip dan diberi kode, setelah itu sampel dianalisis laboratorium dengan beberapa parameter yaitu, K-tersedia menggunakan ekstrak NH₄OAc pH 7 (1N), K-total menggunakan ekstrak HCl 25%, dan Serapan-K menggunakan rumus, sebagai berikut (Eviati *et al.*, 2023).

Serapan K (g/tanaman) = (%) Kadar Kalium Jaringan Tanaman × Berat Kering Tanaman (g)

Data hasil penelitian diuji menggunakan aplikasi *Genstat*. Uji *Bartlett* untuk melihat apakah data yang dianalisis homogen, dilanjutkan dengan uji ANOVA pada tingkat signifikansi 5% untuk melihat pengaruh perlakuan, dan dilanjutkan dengan uji Duncan Multiple Range Test (DMRT) pada tingkat signifikansi 5% untuk melihat perlakuan terbaik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Tanah Sulfat Masam

Tanah yang digunakan dalam penelitian ini merupakan tanah sulfat masam, yang dicirikan oleh pH tanahnya yang sangat masam (4,09). Kondisi ini diduga disebabkan oleh oksidasi mineral pirit (*FeS₂*) yang menghasilkan asam sulfat pada kondisi oksidatif (417 mV). Pirit ditemukan pada kedalaman >50 cm, sehingga masuk dalam kategori tanah sulfat masam potensial (Tabel 1).

Tabel 1. Karakteristik Tanah

Table 1. Soil Characteristics

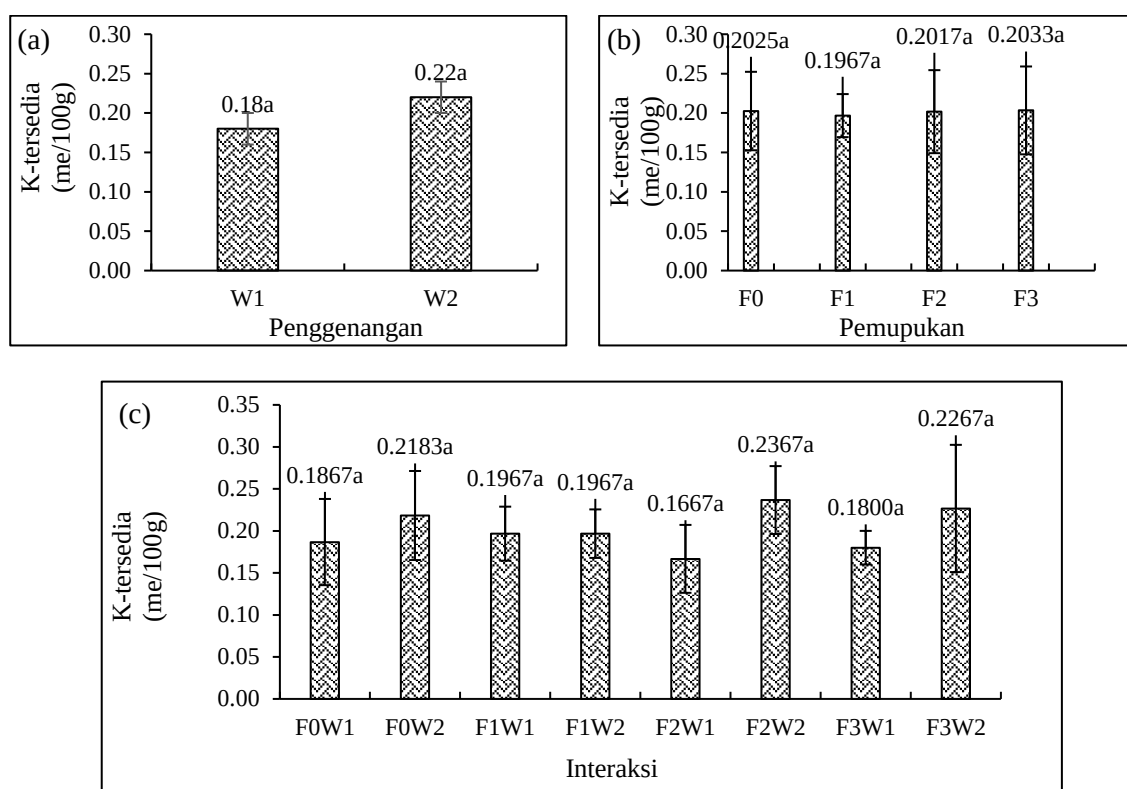
Tekstur <i>Texture</i>			pH (H ₂ O) <i>pH (H₂O)</i>	Eh <i>Eh</i>	Kedalaman Pirit <i>Pyrite Depth</i>
Pasir <i>Sand</i>	Debu <i>Silt</i>	Liat <i>Clay</i>			
Pipet			Akuades (1:5)	Akuades (1:5)	H ₂ O ₂
----- % -----			-	mV	cm

2,87	45,53	51,60	4,09	417	>50

Keterangan: Data awal tanah sulfat masam

K-tersedia

Hasil analisis K pada tanah sulfat masam dengan perlakuan perbedaan penggenangan, *decanter solid* dan interaksi, menunjukkan tidak berpengaruh nyata terhadap ketersediaan K dalam tanah. Hasil analisis data dapat dilihat pada Gambar 1.



Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama tidak menunjukkan perbedaan nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf 5%. W1= Penggenangan setinggi 10 cm. W2= Penggenangan setinggi 0 cm. F0= NPK 400 kg/ha, F1= NPK 300 kg/ha + Decanter solid 2 ton/ha, F2= NPK 150 kg/ha + Decanter solid 4 ton/ha, F3= Decanter solid 6 ton/ha.

Gambar 1. Pengaruh perbedaan perlakuan terhadap K-tersedia pada tanah sulfat masam. Penggenangan (a), decanter solid (b), dan interaksi (c).

Figure 1. The effect of different treatments on available K in acid sulfate soil. Flooding (a), decanter solid (b), and interaction (c).

Berdasarkan Gambar 1a, pengaruh penggenangan terhadap ketersediaan K pada tanah sulfat masam menunjukkan bahwa perbedaan penggenangan tidak memberikan pengaruh nyata terhadap K-tersedia. Hal ini dikarenakan pada penggenangan menyebabkan reduksi besi ferri (Fe^{3+}) tidak larut, menjadi ferro (Fe^{2+}) larut. Menurut Emsens *et al.* (2016), kondisi tanah yang tergenang besi (Fe^{3+} menjadi Fe^{2+}) membentuk proses redoks (reduksi-oksidasi) yang dominan. Konsentrasi Fe^{2+} yang sangat tinggi dalam larutan tanah akan mendominasi pertukaran kation, sehingga (K^+) hilang terlarut ke dalam tanah. Sejalan dengan penelitian Sari *et al.* (2022), kandungan Fe yang tinggi mengakibatkan terjadinya keracunan besi (Fe^{2+}) dan menghilangkan hara penting lainnya.

Berdasarkan Gambar 1b, pengaruh faktor tunggal *decanter solid* terhadap ketersediaan K pada tanah sulfat masam menunjukkan bahwa faktor tunggal *decanter solid* tidak memberikan pengaruh nyata terhadap ketersediaan K. Hal ini dikarenakan sifat tanah sulfat masam yang umumnya memiliki kapasitas tukar kation (KTK) rendah. Menurut penelitian Saputro *et al.* (2018), rendahnya KTK disebabkan oleh pH tanah yang masam. Keadaan ini menyebabkan tanah tidak dapat menyimpan hara dalam bentuk yang dapat ditukar. KTK rendah juga dapat disebabkan oleh jumlah kation basa yang ada dalam larutan tanah, seperti Ca, Mg, dan K, yang berada pada kadar rendah. Kalium bersifat mobil atau mudah hilang,

muatan partikel tanah sangat terbatas sehingga kalium tidak dapat diikat dengan kuat dan mudah tercuci oleh air genangan. Kalium adalah unsur hara yang mudah berpindah dan rentan tercuci, sehingga pemberiannya harus sesuai dengan kebutuhan tanaman dan dilakukan pada waktu yang tepat (Prakoso *et al.*, 2022). Selain itu, *decanter solid* memerlukan waktu dekomposisi yang cukup lama untuk melepas hara K secara maksimal, sementara hara K dibutuhkan untuk mendukung nutrisi tanah. Sejalan dengan pernyataan Prasetyo *et al.* (2023), *decanter solid* merupakan bahan organik yang bersifat lambat karena harus mengalami proses dekomposisi terlebih dahulu, sehingga unsur hara belum tersedia jika proses dekomposisi bahan *decanter solid* belum sempurna.

Berdasarkan Gambar 1c, pengaruh interaksi kombinasi pupuk NPK dan *decanter solid* dengan penggenangan terhadap ketersediaan K pada tanah sulfat masam menunjukkan bahwa faktor interaksi antara penggenangan dan pemberian kombinasi NPK serta *decanter solid* tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap ketersediaan K. Hal ini dikarenakan oleh laju dekomposisi di mana *decanter solid* merupakan bahan organik dengan C/N yang relatif tinggi. Dalam kondisi tergenang, proses mineralisasi sangat lambat dalam melepaskan kalium dari bahan organik. Kemudian dalam penambahan pupuk NPK yang mengandung amonium (NH_4^+) dapat menghambat ketersediaan K, karena kedua ion ini memiliki hidrasi yang sama, sehingga terjadi kompetisi serapan dan pengikat pada koloid tanah, ion tadi bersaing ketat dalam pengikatan koloid tanah, yang secara efektif mendesak keluar kation lain seperti K, Mg dan Ca (Meetei *et al.*, 2020).

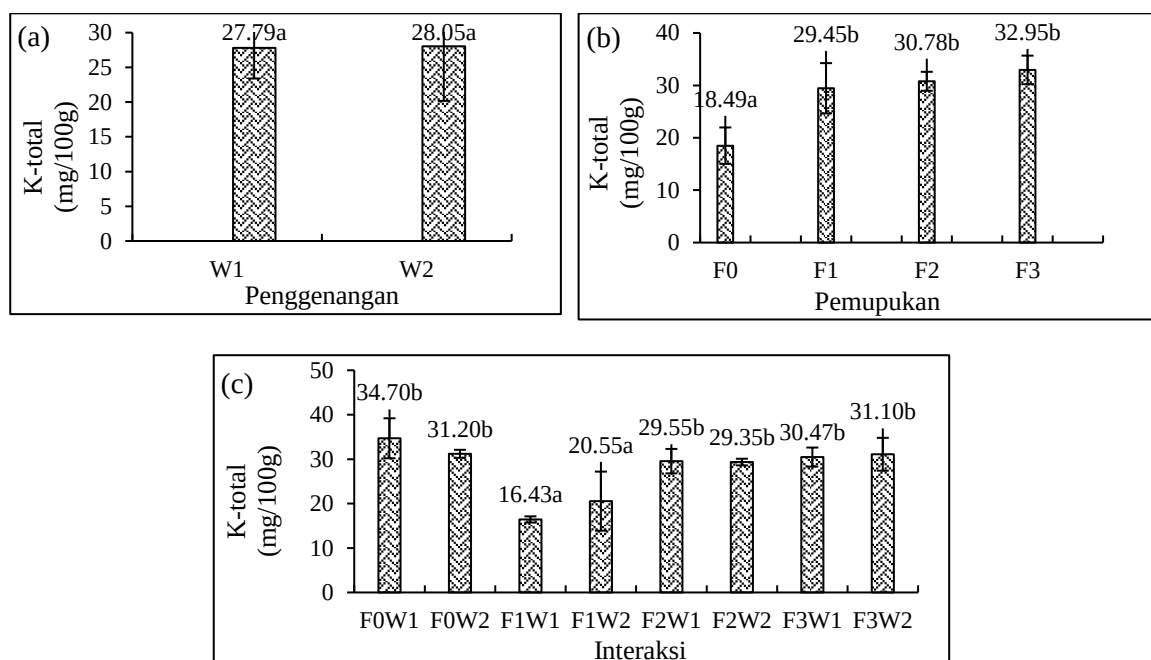
K-total

Hasil analisis K pada tanah sulfat masam dengan perlakuan perbedaan penggenangan, pemupukan dan interaksi, menunjukkan tidak berpengaruh nyata pada perlakuan penggenangan dan interaksi. Sedangkan pada pemupukan F0 dengan F1, F2 dan F3 berpengaruh nyata terhadap K-total dalam tanah. Hasil analisis data dapat dilihat pada Gambar 2.

Berdasarkan Gambar 2a, pengaruh penggenangan terhadap K-total pada tanah sulfat masam menunjukkan bahwa penggenangan tidak memberikan pengaruh nyata terhadap K-total. Hal ini diduga terjadi karena pada tanah sulfat masam, penggenangan memang meningkatkan pH melalui reduksi besi (Fe^{3+} menjadi Fe^{2+}). Penggenangan memengaruhi jumlah K-total dalam tanah; penggenangan berlebihan akan mengakibatkan K terlarut dalam tanah dan terjadi pencucian. Sejalan dengan penelitian Mu'min *et al.* (2016), penggenangan dan pengairan berlebih memicu pelepasan ion Fe^{2+} dan Al^{3+} ke larutan tanah, sehingga menghambat pelepasan K^+ dari koloid tanah, dan K^+ lebih mudah tercuci (*leaching*) daripada tergabung secara total.

Berdasarkan Gambar 2b, pengaruh faktor tunggal *decanter solid* terhadap K-total pada tanah sulfat masam menunjukkan bahwa faktor tunggal *decanter solid* memberikan pengaruh tidak nyata terhadap K-total, tetapi memberikan pengaruh nyata terhadap pemberian NPK saja. Hal ini dikarenakan F0 hanya mengandalkan NPK anorganik yang kelarutannya sangat cepat dan mudah hilang di tanah masam. Sementara F1, F2 dan F3 mengandung tambahan *decanter solid*, di mana *decanter solid* ini merupakan limbah sawit yang kaya akan bahan organik dan hara. Ketersediaan *decanter solid* meningkatkan KTK, sehingga K dari pupuk NPK maupun dari *decanter solid* itu sendiri dapat diikat dan tidak mudah hilang. *Deconter solid* kaya akan bahan organik yang berperan dalam meningkatkan KTK, juga dapat memperbaiki struktur tanah dan sifat biologi tanah (Ahmad *et al.*, 2023; Rupani *et al.*, 2022). Hal ini menunjukkan adanya titik jenuh hara, penambahan dosis dari

decanter solid tidak lagi meningkatkan K-total secara signifikan karena kapasitas jerapan tanah telah mencapai batas optimalnya pada dosis rendah F1.



Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama tidak menunjukkan perbedaan nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf 5%. W1= Penggenangan setinggi 10 cm. W2= Penggenangan setinggi 0 cm. F0= NPK 400 kg/ha, F1= NPK 300 kg/ha + *Decanter solid* 2 ton/ha, F2= NPK 150 kg/ha + *Decanter solid* 4 ton/ha, F3= *Decanter solid* 6 ton/ha.

Gambar 2. Pengaruh perbedaan perlakuan terhadap K-total pada tanah sulfat masam. Penggenangan (a), *decanter solid* (b), dan interaksi (c).

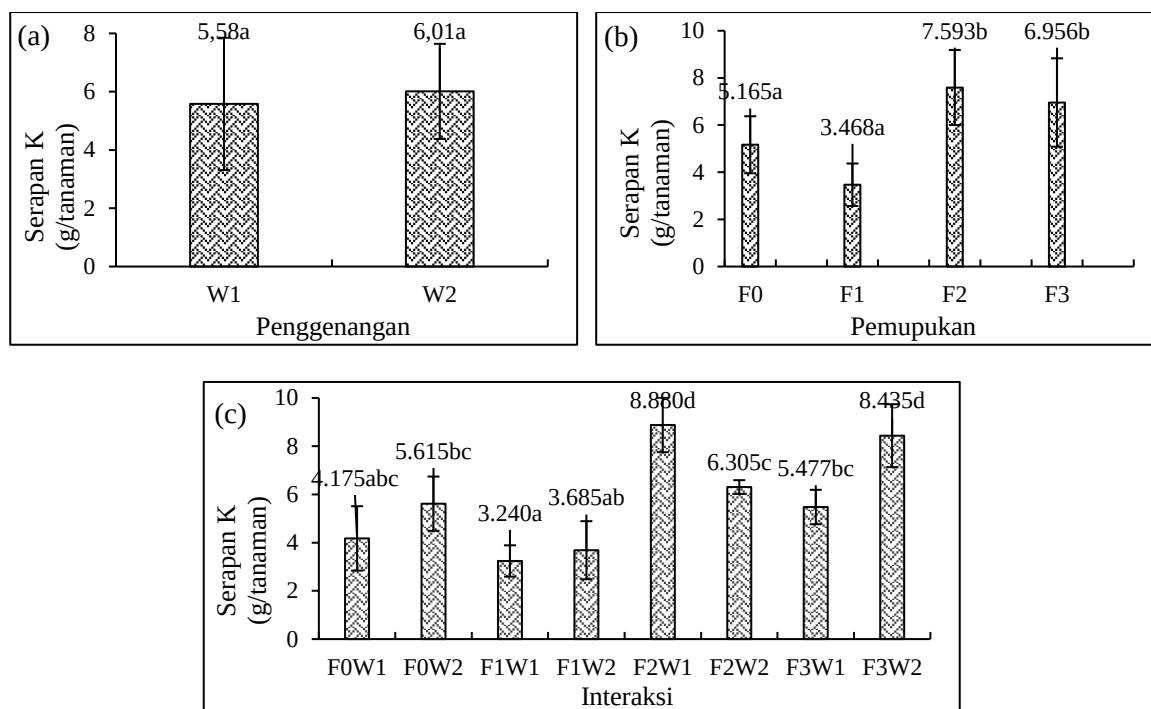
Figure 2. The effect of different treatments on total K in acid sulfate soil. Flooding (a), *decanter solid* (b), and interaction (c).

Berdasarkan Gambar 2c, pengaruh interaksi kombinasi pupuk NPK dan *decanter solid* dengan penggenangan terhadap K-total pada tanah sulfat masam menunjukkan bahwa faktor interaksi antara penggenangan dan pemberian kombinasi NPK serta *decanter solid* memberikan pengaruh tidak nyata pada perlakuan F1W1 dan F1W2, sedangkan pada perlakuan lainnya justru lebih tinggi dan berpengaruh terhadap K-total. Hal ini dikarenakan pada F1W1 dan F1W2, kedua perlakuan ini melibatkan penambahan dosis *decanter solid* yang mengandung asam-asam organik, sehingga terjadi imobilisasi hara. Dalam penelitian Fahmi *et al.* (2009), kandungan bahan organik menyediakan fosfat dan memiliki hubungan dengan imobilisasi fosfat, peningkatan jerapan fosfat, bahan organik yang diberikan sebagai sumber energi, serta menghasilkan asam organik yang berpotensi menurunkan pH tanah. Namun, karena dosis yang ditambahkan tadi masih belum mampu memperbaiki struktur tanah secara permanen, K yang terlarut justru ikut tercuci saat air genangan meresap. Pada faktor penggenangan juga menunjukkan bahwa terlalu banyak dan dalam akan mengakibatkan K terlarut dan tercuci (Mu'min *et al.*, 2016). Proses dekomposisi yang sudah sempurna pada fase panen juga dapat menyebabkan K-total menjadi rendah karena sudah terserap, terikat, atau tercuci oleh jaringan organik maupun tanah dan tanaman. Dalam penelitian Karamoy (2022), kandungan K tersedia pada saat panen tergolong rendah karena K-total menjadi rendah karena K-tersedia sudah diserap tanaman dan terlepas dari bahan

organik yang telah terurai sempurna, dan K tidak lagi digunakan dalam pertumbuhan generatif tanaman padi.

Serapan K

Hasil analisis K pada tanah sulfat masam dengan perlakuan perbedaan penggenangan, pemupukan dan interaksi, menunjukkan tidak berpengaruh nyata terhadap perlakuan penggenangan. Sedangkan pada faktor pemupukan F0 dan F1 dengan F2 dan F3 dan interaksi F2W1 berpengaruh nyata terhadap serapan K dalam tanah. Hasil analisis data dapat dilihat pada Gambar 3.



Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama tidak menunjukkan perbedaan nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf 5%. W1= Penggenangan setinggi 10 cm. W2= Penggenangan setinggi 0 cm. F0= NPK 400 kg/ha, F1= NPK 300 kg/ha + Decanter solid 2 ton/ha, F2= NPK 150 kg/ha + Decanter solid 4 ton/ha, F3= Decanter solid 6 ton/ha.

Gambar 3. Pengaruh perbedaan perlakuan terhadap serapan K pada tanah sulfat masam. Penggenangan (a), decanter solid (b), dan interaksi (c).

Figure 3. The effect of different treatments on K absorption in acid sulfate soil. Flooding (a), decanter solid (b), and interaction (c).

Berdasarkan Gambar 3a, pengaruh penggenangan terhadap serapan K pada tanah sulfat masam menunjukkan bahwa penggenangan tidak memberikan pengaruh nyata terhadap serapan K. Hal ini diduga karena pada tanah sulfat masam, masalah utama adalah kemasaman ekstrem dan kelarutan Al serta Fe yang sangat tinggi. Penggenangan pada fase panen sering kali menyebabkan oksidasi mineral pirit (FeS_2), yang justru melepaskan ion H^+ dan menurunkan pH kembali (Saputra & Sari, 2021). Ion H^+ yang dihasilkan dari oksidasi akan menyebabkan tanah sangat masam (Sukarman *et al.*, 2021). Bila reduksi terjadi secara berlebihan akan terbentuk besi (Fe^{2+}) dan asam-asam organik lainnya (Alwi & Hairani, 2018; Masganti *et al.*, 2019).

Hal ini menyebabkan K^+ tetap terfiksasi atau sulit diserap karena kalah saing dengan ion-ion masam dalam pertukaran kation tanah.

Berdasarkan Gambar 3b, pengaruh faktor tunggal *decanter solid* terhadap Serapan K pada tanah sulfat masam menunjukkan bahwa faktor tunggal *decanter solid* memberikan pengaruh tidak nyata terhadap F0 dan F1 namun berbeda nyata dengan F2 dan F3 pada serapan K. Hal ini dikarenakan F1 kandungan NPK tinggi tetapi *decanter solid* rendah menyebabkan tidak mampu untuk meningkatkan serapan secara signifikan dibandingkan F0 yang hanya NPK saja. Hal ini terjadi karena pupuk NPK tanpa tambahan bahan organik yang cukup akan lebih cepat tersuspensi. Pemberian pupuk anorganik mampu menyediakan hara dengan cepat namun mudah tercuci dan tidak dapat di simpan dalam tanah (Firmansyah & Sumarni, 2013; Syamsiyah *et al.*, 2023). Sedangkan pada F2 dan F3 yang lebih tinggi dan tidak berbeda nyata satu sama lain, karena F2 dan F3 menggunakan *decanter solid* yang lebih tinggi. *Decanter solid* berfungsi sebagai bahan organik yang meningkatkan KTK dan mengikat Al. Bahan organik *decanter solid* meningkatkan KTK dan meningkatkan pH tanah, unsur hara tersedia serta mengikat Al di tanah masam (Ahmad *et al.*, 2023; Rona, 2014). Ketika dosis *decanter solid* mencapai F2, tanah akan menyediakan K. Perlakuan F2 menunjukkan bahwa pemberian *decanter solid* dapat mengurangi penggunaan pupuk anorganik dari perlakuan F1, yang artinya pemberian dosis yang efektif, tanpa menurunkan hasil, bahkan meningkatkan hasil. Perbedaan dan pemberian dosis pada F3 tidak lagi memberikan pengaruh nyata karena pada F3 hanya diberikan *decanter solid* saja, di mana *decanter solid* merupakan pupuk organik yang bersifat *slow release*. Pupuk organik melepaskan unsur hara secara bertahap (*slow release*) yang dirancang untuk penyediaan nutrisi stabil dan mengurangi risiko pemupukan berlebih (Nita *et al.*, 2025; Sukmawati *et al.*, 2024).

Berdasarkan Gambar 3c, pengaruh interaksi kombinasi pupuk NPK dan *decanter solid* dengan penggenangan terhadap serapan K pada tanah sulfat masam menunjukkan pengaruh berbeda nyata pada kode perlakuan F2W1 yang paling tinggi, sedangkan kode perlakuan F1W1 nilainya paling rendah. Hal ini dikarenakan F1W1 mengandalkan dosis NPK yang tinggi, namun dengan *decanter solid* yang rendah. Sebaliknya, F2W1 mengurangi dosis NPK tetapi menambahkan dosis *decanter solid*. Hasil membuktikan bahwa pada tanah sulfat masam, penambahan NPK tidak akan efektif tanpa penambahan bahan organik. Tanpa pemberian bahan organik, pemupukan NPK menjadi sia-sia karena hara tidak tersedia (Suyanto, 2023). Dosis *decanter solid* yang lebih tinggi pada F2W1 berhasil mengubah kondisi kimia tanah menjadi lebih baik. Meski dosis NPK lebih rendah, efisiensi dengan penambahan *decanter solid* dapat meningkatkan penyerapan K^+ hingga mencapai nilai tertinggi. Namun, secara statistik kode perlakuan F2W1 berbeda tidak nyata dengan kode perlakuan F3W2 dimana penggunaan bahan organik berupa *decanter solid* dengan dosis (6 ton/ha) juga sudah mampu mensubstitusi NPK dan dapat meningkatkan ketersediaan hara pada tanah sulfat masam. Sifatnya yang *slow release* memenuhi ketersediaan hara yang lebih stabil (Alwi & Hairani, 2018). Sehingga pemberian F2W1 maupun F3W2 mampu memberikan kondisi tanah yang tidak berbeda. Karena, dalam kondisi tanah sulfat masam tergenang, substitusi *decanter solid* sebanyak 70% menghasilkan serapan K paling tinggi, karena proses reduksi yang meningkatkan serapan hara organik. Sebaliknya, dalam kondisi tanah sulfat masam tidak tergenang substitusinya mencapai 100% dimana setara efektif dengan NPK dalam menjaga dinamika K dan juga mensubstitusi NPK (Satya, 2018).

KESIMPULAN

Penggenangan independen tidak berpengaruh signifikan terhadap fraksi K pada tanah sulfat masam. Sebaliknya, substitusi pupuk NPK dengan *decanter solid* menjadi faktor dominan yang mengatur ketersediaan dan serapan K. Interaksi antara kondisi hidrologi dan tingkat substitusi menunjukkan pada kondisi tergenang, substitusi 70% *decanter solid* mengoptimalkan serapan K. Namun, pada kondisi tidak tergenang, *decanter solid* 100% dapat menggantikan NPK tanpa menurunkan efisiensi serapan K. Temuan ini menegaskan bahwa *decanter solid* berpotensi tinggi sebagai alternatif pupuk berkelanjutan untuk mengurangi ketergantungan terhadap pupuk anorganik. Secara praktis, strategi substitusi dapat disesuaikan berdasarkan kondisi pengelolaan air untuk memaksimalkan efisiensi pemupukan dan mendukung pertanian lebih ramah lingkungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan apresiasi dan terima kasih kepada Universitas Lambung Mangkurat atas dukungan pendanaan penelitian melalui skema Penelitian Fundamental PNPB Tahun 2025.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, N. M., Foo, N. S., Loh, S. K., Abbas, K., Ong, S. K., Hassan, N., Al-Karkhi, A. F. M., Bello, M. M., & Bachmann, R. T. (2023). Nutrient Recovery from Anaerobic Palm Oil Mill Effluent Using Palm Kernel Shell Biochar and Deoiled Spent Bleaching Earth and Their Effect on Oil Palm Growth. In Ismail, A., Zulkipli, F. N., Husin, H. S., & Öchsner, A. (Eds.), *Advancements in Materials Science and Technology Led by Women* (pp. 81–104). Switzerland, Springer Nature.
- Al Mu'min, M. I., Joy, B., & Yuniarti, A. (2016). Dinamika Kalium Tanah dan Hasil Padi Sawah (*Oryza sativa* L.) Akibat Pemberian NPK Majemuk dan Penggenangan pada Fluvaquent Epiaquepts. *Soilrens*, 14(1), 11-15.
- Alwi, M., & Hairani, A. (2018). Keracunan Al dan Fe pada Tanaman Padi di Lahan Rawa Pasang Surut Sulfat Masam dan Upaya Penanggulannya. Dalam Masganti, Simatupang, R. S., Alwi, M., Maftu'ah, E., Noor, M., Mukhlis, Sosiawan, H., & Susanti, M. A. (Eds.), *Inovasi Teknologi Lahan Rawa Mendukung Kedaulatan Pangan* (pp. 13-35). Rajawali Press, Depok.
- Anda, M., Subagyo, H., Mulyani A., Suparto., Yatno, E., Sulaeman, Y., Hikmat, M., Subardja, D., Wahyunto., Nugroho. K., Sosiawan, H., Suratman., Tafakresnanto, C., Sukarman., Ritung, S., Hikmatullah., Sugrawidjaya. R., Prasodjo, N., Subandino, E. R., & Suryani, E. (2015). *Kunci Taksonomi Tanah* (3 Bahasa Indonesia). Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian.
- Direktorat Statistik Tanaman Pangan, Hortikultura, dan Perkebunan. (2024). *Statistik Tanaman Perkebunan Tahunan Indonesia 2024 (Kelapa Sawit, Kopi, Kakao, Karet, Teh, dan Komoditas Perkebunan Unggulan)*. Badan Pusat Statistik Indonesia.
- Emsens, W.-J., Aggenbach, C. J. S., Schoutens, K., Smolders, A. J. P., Zak, D., & van Diggelen, R. (2016). Soil Iron Content as a Predictor of Carbon and Nutrient Mobilization in Rewetted Fens. *PLoS One*, 11(4), e0153166.

-  Eviati, Sulaeman, Herawaty, L., Anggria, L., Usman, Eka, T. H., Prihatini, R., & Wuningrum, P. (2023). *Petunjuk Teknis Edisi 3: Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk*. Balai Besar pengujian Standar Instrumen Sumbidaya Lahan Pertanian, Kementerian Pertanian.
-  Fahmi, A., Alwi, M., & Nursyamsi, D. (2018). The Role of Inundation Types of Tidal Swampland on The Chemical Properties of Potentially Acid Sulphate Soils Under Fertilizer and Lime Application. *Journal of Tropical Soils*, 23(2), 55–64.
-  Fahmi, A., Radjagukguk, B., & Purwanto, B. H. (2009). Kelarutan Fosfat dan Ferro pada Tanah Sulfat Masam yang Diberi Bahan Organik Jerami Padi. *Journal of Tropical Soils*, 14(2), 119–125.
-  Firmansyah, I., & Sumarni, N. (2013). Pengaruh Dosis Pupuk N dan Varietas terhadap pH Tanah, N-total Tanah, Serapan N, dan Hasil Umbi Bawang Merah (*Allium ascalonicum* L.) pada Tanah Entisols-Brebes Jawa Tengah. *Jurnal Hortikultura* 23(4), 358-364.
-  Giu, F. A., Musa, W. J., Bialangi, N., Isa, I., Mohamad, E., & Kunusa, W. R. (2024). Analisis Kandungan Unsur Kalsium (Ca) dan Kalium (K) serta Pembuatan Pupuk Organik dari Sedimen Danau Limboto. *Jambura Journal of Chemistry*, 6(1), 46-56.
-  Handayanto, E., Muddarisna, N., & Fiqri, A. (2017). *Pengelolaan kesuburan tanah*. Universitas Brawijaya Press.
-  Hariana, H., Karuana, F., Putra, H. P., Ghazidin, H., Kuswa, F. M., Prismantoko, A., Raksodewanto, A. A., Maskur, Z., Wijayanto, T., & Vuthaluru, H. B. (2024). Low Temperature Combustion and Ash Deposition Characteristics of Palm Oil and Forest Replanting Waste. *Journal of Cleaner Production*, 477, 143851.
-  Karamina, H., Hapsari, R. I., Murti, A. T., & Gentara, T. D. (2022). Uji pH, Kalium Total, C-Organik pada Sampel Tanah dan Kandungan Vitamin C Buah di Perkebunan Jambu Kristal Bumiaji Batu. *Agrika*, 16(2), 127.
-  Karamoy, L. T. (2022). Analisis Kadar Hara Nitrogen, Fosfor, Kalium, C-Organik dan pH pada Tanah Sawah di Kecamatan Dumoga Kabupaten Bolaang Mongondow. *J. Agroekoteknologi Terapan*, 3(2), 338–348.
-  Manurung, S., & Djs, A. J. (2021). Pengaruh Aplikasi Limbah (*Decanter Solid*) Pabrik Kelapa Sawit terhadap Pertumbuhan Vegetatif serta Kadar Klorofil Daun Bibit Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) di Pembibitan Utama. *Jurnal Agro Estate*, 5(2), 138–151.
-  Maryani, A. T. (2018). Efek Pemberian *Decanter Solid* terhadap Pertumbuhan Bibit Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) dengan Media Tanah Bekas Lahan Tambang Batu Bara di Pembibitan Utama. *Journal of Sustainable Agriculture*, 33(1), 50–56.

Masganti., Susilawati, A., Khairullah, I., & Anwar, K. (2019). Pengendalian Keracunan Besi untuk Peningkatan Produktivitas Padi di Lahan Rawa Pasang Surut Bukaas Baru. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 13(2), 103–113.

Meetei, T. T., Devi, Y. B., & Chanu, T. T. (2020). Ion Exchange: The Most Important Chemical Reaction on Earth after Photosynthesis. *International Research Journal of Pure and Applied Chemistry*, 21(6), 31–42.

Nita, A., Sukmawati, Rahim, I., Suherman, Qadri, S. N., Zamzam, S., Noerfitryani, & MK, P. (2025). Karakteristik Pupuk Slow Release Berbasis Biochar Tongkol Jagung yang Diperkaya Nutrisi. *Journal Galung Tropika*, 14(2), 212–223.

Noyaa, A. I., Ghulamahdi, M., Sopandie, D., Sutandi, A., & Melati, M. (2014). Pengaruh Kedalaman Muka Air dan Amelioran terhadap Produktivitas Kedelai di Lahan Sulfat Masam. *Jurnal Pangan*, 23(2), 120–133.

Nursanti, I., & Defitri, Y. (2024). Karakteristik Tanah Sulfat Masam dan Pengelolaannya untuk Lahan pertanian. *Jurnal Ilmiah Nusantara (JINU)*, 1(6), 174–186.

Nursyamsi, D., & Suryadi, M. E. (2000). Pengaruh Drainase Terputus dan Pemupukan terhadap pH, Eh, dan Mn, pada Sawah Baru di Ultisol Bandar Abung (Lampung) dan Tapin (KalSel). *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*, 3(2), 8–17.

Prakoso, T., Alpendari, H., & Sridjono, H. H. H. (2022). Respon Pemberian Unsur Hara Makro Esensial terhadap Pertumbuhan Tanaman Jagung (*Zea mays*). *Muria Jurnal Agroteknologi*, 1(1), 8–13.

Prasetyo, I., Rohmiyati, S. M., & Wirianata, H. (2023). Pengaruh *Decanter Solid* dan Pupuk NPK terhadap Peningkatan Pertumbuhan Bibit Kelapa Sawit di Main Nursery. *AGROISTA: Jurnal Agroteknologi*, 7(1), 39–44.

Ratmini, N. P. S. (2019). Kajian Provitamin Lahan Sulfat Masam Sumatera Selatan: Studi Kasus Desa Mulya Sari Kecamatan Tanjunglago. *Jurnal Agroecotania: Publikasi Nasional Ilmu Budidaya Pertanian*, 2(1), 52–62.

Rona, Y. (2014). *Penggunaan Kompos dan Biochar untuk Pembibitan, Pertumbuhan dan Hasil Cabai Rawit (Capsicum Frutescens L) (Tesis)*.

Rupani, P. F., Embrandiri, A., Rezania, S., Wang, S., Shao, W., Domínguez, J., & Appels, L. (2022). Changes in The Microbiota During Biological Treatment of Palm Oil Mill Waste: A Critical Review. *Journal of Environmental Management*, 320, 115772.

Saputra, R. A., & Sari, N. N. (2021). Ameliorant Engineering to Elevate Soil pH, Growth, and Productivity of Paddy on Peat and Tidal Land. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 648(1), 012183. Retrieved from <https://doi.org/10.1088/1755-1315/648/1/012183>

-  Saputro, A., Nusantara, R. W., & Gunawan, J. (2017). Identifikasi Sifat Kimia dan Status Kesuburan Tanah untuk Tanaman Padi pada Sawah Pasang Surut di Desa Sungai Dungun Kecamatan Sungai Kunyit Kabupaten Mempawah. *Jurnal Sains Pertanian Equator*, 6(1).
-  Sari, D. M., & Jayadi, R. (2022). Study of Tidal and Water Quality in Acid Sulphate Soil of Unit Tamban Lowland Irrigation Area Central Kalimantan. *International Conference on Sustainable Environment, Agriculture and Tourism (ICOSEAT 2022)*, 128–137.
-  Sari, R., Palupi, N. P., Kesumaningwati, R., & Jannah, R. (2022). Penyerapan Logam Berat Besi (Fe) dengan Metode Fitoremediasi pada Tanah Sawah menggunakan Tanaman Kangkung Air (*Ipomoea aquatica*). *Jurnal Agroekoteknologi Tropika Lembab*, 5(1), 9-19.
-  Satya S, A. N. (2018). *Pengaruh Pemberian (DecanterSolid) sebagai Substitusi Pupuk NPKMg (15: 15: 6: 4) terhadap Pertumbuhan Bibit Kelapa Sawit (Elaeis Guineensis Jacq) di Pembibitan Utama (Tesis)*.
-  Soleha, N., Priatmadi, B. J., & Mariana, Z. T. (2023). Perubahan pH, Fe-larut, dan P-tersedia di Tanah Sulfat Masam Aktual (Sulfaquept) yang Diberi Pupuk Kandang Sapi dan Genangan Air. *Acta Solum*, 1(2), 53–60.
-  Sukarman, L. I., Noor, M., & Tafakresnanto, C. (2021). *Pengelolaan Lahan Berkarakter Khusus. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian*. IAARD PRESS. Jakarta.
-  Sukmawati, S., Rahim, I., Arodhiskara, Y., Selao, A., Harsani, H., & Syafnur, A. (2024). Pemanfaatan Biochar dari Tongkol Jagung sebagai Pupuk Slow-Release pada Lahan Kebun Kakao Milik Kelompok Tani Mamminasa Deceng di Kabupaten Soppeng. *Jurnal Dinamika Pengabdian*, 9(2), 331–338.
-  Suyanto, A. (2023). Efektivitas Penggunaan Pembenah Tanah Organik dalam Meningkatkan Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Padi (*Oryza sativa* L.) pada Tanah Sulfat Masam. *Jurnal Pangan*, 32(2), 95–102.
-  Syamsiyah, J., Herdiyansyah, G., Hartati, S., Suntoro, S., Widijanto, H., Larasati, I., & Aisyah, N. (2023). Pengaruh Substitusi Pupuk Kimia dengan Pupuk Organik terhadap Sifat Kimia dan Produktivitas Jagung di Alfisol Jumanono. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 10(1), 57–64.
-  Tepsour, M., Usmanbaha, N., Rattanaya, T., Jariyaboon, R., O-Thong, S., Prasertsan, P., & Kongjan, P. (2019). Biogas Production from Oil Palm Empty Fruit Bunches and Palm Oil Decanter Cake Using Solid-State Anaerobic Co-Digestion. *Energies*, 12(22), 4368.
-  Zhailybay, K., Nurmash, N., & Medeuova, G. Z. (2018). Influence of Doses of Mineral Fertilizers on Anatomical Structure of Vegetative Organs of Rice Varieties in Kazakhstan. *12th PATTAYA International Conference on Chemical, Agricultural, Biological and Environmental Sciences (PCABES-18)*, (pp.29–35). Pattaya, International Institute of Chemical, Biological & Environmental Engineering.