

PENGUNAAN WADAH SARINGAN PUPUK LEPAS TERKENDALI (WSPLT) DALAM PENYEDIAAN HARA TANAMAN KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis* Jacq.) DI TANAH GAMBUT DENGAN KEDALAMAN MUKA AIR TANAH BERBEDA

THE USING OF CONTROLLED RELEASE FERTILIZER FILTER CONTAINERS (CRFFC) IN PROVIDING NUTRIENTS OF OIL PALM (*Elaeis guineensis* Jacq.) ON PEAT SOILS WITH DIFFERENT WATER TABLES

Indrawan, Syafrinal*, dan Wawan

Program Studi Ilmu Pertanian, Fakultas Pertanian Universitas Riau, Pekanbaru, Indonesia

* Corresponding Author. E-mail address: syafrinal@lecturer.unri.ac.id

ARTICLE HISTORY:

Received: 8 July 2024

Peer Review: 6 August 2024

Accepted: 10 September 2025

KATA KUNCI:

Gambut, kandungan unsur hara daun, pupuk lepas terkendali, wadah saringan

KEYWORDS:

Controlled release, filter fertilizer container, leaf nutrient content, peat

© 2025 The Author(s).
Published by Department of
Agrotechnology, Faculty of
Agriculture, University of
Lampung.

ABSTRAK

Kajian penggunaan wadah saringan pupuk lepas terkendali (WSPLT) dan tinggi muka air tanah dilakukan bertujuan untuk melihat interaksi WSPLT dan tinggi muka air tanah di lahan gambut. Penelitian faktorial 3x2 dengan 3 ulangan dirancang menurut Split Plot dengan petak utama tinggi muka air tanah 40 cm dan 60 cm dengan anak petak ukuran saringan 60 mesh, 80 mesh, 100 mesh. Parameter yang diamati meliputi persentase kelarutan pupuk dari WSPLT, sifat kimia tanah, dan kadar hara daun kelapa sawit. Data kelarutan pupuk dianalisis menggunakan sidik ragam dan uji lanjut DNMRT pada taraf 5%, kadar hara daun dianalisis secara deskriptif. Hasil penelitian diperoleh muka air tanah yang berbeda menghasilkan persentase kelarutan pupuk yang tidak berbeda. Pemberian pupuk dengan menggunakan WSPLT menghasilkan persentase kelarutan yang lebih rendah dibandingkan tanpa WSPLT. Penggunaan WSPLT dengan ukuran saringan yang berbeda menghasilkan persentase kelarutan yang tidak berbeda. Penggunaan WSPLT menghasilkan persentase kelarutan yang lebih rendah dari tanpa WSPLT, namun antara ukuran saringan menghasilkan persentase kelarutan yang tidak berbeda. Pada tinggi muka air tanah 40 cm terjadi peningkatan kadar hara N daun berkisar antara 15% sampai 23,79%, hara P daun berkisar antara 15% sampai 24%, dan hara K daun berkisar antara 68% sampai 82%. Sedangkan pada tinggi muka air tanah 60 cm terjadi peningkatan pada kadar hara N daun berkisar antara 13% sampai 14%, hara P daun tidak terjadi peningkatan, dan hara K daun berkisar antara 12% sampai 52% pada daun kelapa sawit.

ABSTRACT

The study on the use of controlled-release fertilizer filter containers (WSPLT) and groundwater table height was conducted to observe the interaction between WSPLT and groundwater table height in peatlands. A factorial experiment (3x2) with three replications was arranged using a Split Plot Design, with the main plot being groundwater table heights of 40 cm and 60 cm, and the subplots being filter mesh sizes of 60 mesh, 80 mesh, and 100 mesh. Observed parameters included the percentage of fertilizer solubility from WSPLT, soil chemical properties, and nutrient content in oil palm leaves. Fertilizer solubility data were analyzed using analysis of variance (ANOVA) followed by Duncan's Multiple Range Test (DMRT) at a 5% significance level, while leaf nutrient content was analyzed descriptively. The results showed that different groundwater table heights did not significantly affect the percentage of fertilizer solubility. The use of WSPLT resulted in a lower fertilizer solubility percentage compared to treatment without WSPLT. Different WSPLT mesh sizes did not significantly affect the fertilizer solubility percentage. Although WSPLT reduced the fertilizer solubility compared to the non-WSPLT treatment, the solubility between mesh sizes showed no significant difference. At a groundwater table height of 40 cm, there was an increase in leaf N content ranging from 15% to 23.79%, P content from 15% to 24%, and K content from 68% to 82%. Meanwhile, at a groundwater table height of 60 cm, the increase in leaf N content ranged from 13% to 14%, no increase was observed in P content, and K content increased from 12% to 52% in oil palm leaves.

1. PENDAHULUAN

Lahan gambut yang terluas terdapat di Pulau Sumatera, yaitu 6.436.649 ha atau 43,18% dari luas lahan gambut di Indonesia. Lahan gambut di Indonesia diantaranya berpotensi untuk pengembangan komoditas pertanian termasuk kelapa sawit dan *Acasia crassicarpa* (BB Litbang SDLP, 2011). Pengembangan kelapa sawit di Indonesia mencapai lebih dari 1.7 juta hektar. Namun demikian, pertumbuhan dan produksi tanaman kelapa sawit di lahan gambut masih rendah. Hal ini disebabkan tingkat kemasaman yang tinggi, tingkat kesuburan tanah yang relatif rendah, dan aplikasi teknologi produksi yang belum optimum (Hasnol *et al.*, 2011; Lim *et al.*, 2012). Ketersediaan hara N, P, K, Ca dan Mg dalam tanah gambut umumnya rendah, meskipun kandungan N, P, K-total tergolong tinggi, tetapi berada dalam bentuk organik (Musalib *et al.*, 1991). Pengelolaan hara dan aplikasi yang tepat memberikan manfaat yang besar bagi pertumbuhan kelapa sawit. Untuk meningkatkan produktivitas kelapa sawit diperlukan hara makro N, P, K, Ca, dan Mg yang selalu berada dalam keadaan tersedia pada lahan gambut (Tarigan dan Sipayung, 2011; Noor *et al.*, 2013).

Tanah gambut rentan mengalami pencucian hara. Persentase pencucian hara dari kedalaman muka air (25 - 85 cm) masing-masing adalah 22% N, 67% P, 31% K, 41% Mg, 27% Ca, 45% Cu, dan 65% Zn (Hashim S. *et al.*, 2019). Daatselaar *et al.* (2015) melaporkan bahwa dari total pupuk nitrogen yang diberikan ke dalam tanah, hanya sekitar 30% yang dimanfaatkan oleh tanaman. Sisanya hilang melalui beberapa mekanisme: 2–20% menguap ke atmosfer, 15–25% berikatan dengan senyawa organik atau terfiksasi di partikel tanah liat, dan 2–10% lainnya mencemari air permukaan serta air tanah. Kalium dapat dengan mudah larut dan keluar dari zona akar karena berada dalam bentuk ion K⁺ (Rosenani *et al.*, 2016). Salah satu solusinya adalah menggunakan pupuk CRF/SRF, berbagai jenis pupuk CRF (*control release fertilizer*) maupun SRF (*slowrelease fertilizer*) impor telah beredar di Indonesia dengan harga yang mahal (Yang *et al.*, 2018). Mahalnya harga pupuk CRF maupun SRF impor yang beredar di Indonesia tentunya menambah biaya operasional petani sawit. Alternatif pemupukan mekanik dengan menggunakan wadah saringan pupuk lepas terkendali (WSPLT) dirancang untuk menampung pupuk NPK. Ini akan membantu pupuk larut secara bertahap dan diserap tanaman, mengurangi pencucian saat hujan, serta memenuhi kebutuhan hara tanaman kelapa sawit.

Prinsip kerja (WSPLT) wadah saringan pupuk lepas terkendali adalah butiran-butiran pupuk NPK turun dari bagian atas wadah ke bagian bawah yang terdapat saringan, dimana kelarutan butiran-butiran pupuk disaring mesh di pengaruhi tinggi muka air tanah melalui saluran air kapiler tanah gambut. Nugraha (2017) melaporkan bahwa tinggi kenaikan air kapiler di tanah gambut ombrogen maksimum mencapai 50 cm, Ketersediaan air pada saluran kapiler tanah dipengaruhi oleh fluktuasi kedalaman muka air tanah pada tanah gambut. Kassim (2020) melaporkan bahwa Keseimbangan positif tertinggi N, P dan K dicapai oleh perlakuan dengan permukaan air berfluktuasi antara 40-80 cm. Namun belum diketahui kedalaman tinggi muka air tanah mana yang berkorelasi dan efektif untuk melarutkan pupuk di dalam wadah secara bertahap. Penelitian ini bertujuan mempelajari pengaruh wadah saringan pupuk lepas terkendali (WSPLT) dalam melarutkan pupuk NPK, dan interaksi (WSPLT) dan tinggi muka air tanah 40 cm dan 60 cm di lahan gambut, dan mempelajari kadar hara yang tersedia di tanah gambut Khususnya di area penempatan WSPLT dan kadar hara di daun ke 17 pada tanaman kelapa sawit akibat dari perlakuan ukuran saringan WSPLT.

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Tempat dan Waktu Percobaan

Penelitian ini dilaksanakan di Kelurahan Sekip Hilir, Kecamatan Rengat, Kabupaten Indragiri Hulu, Provinsi Riau, dengan koordinat -0.391884 N, 102.547621 BT. Suhu tanah berkisar antara 24,2°C – 33,2°C dan kelembaban pada tanah menunjukkan 68,8% - 98,8%. Penelitian dilaksanakan dari bulan Juli sampai dengan Oktober 2023. Jenis tanah di daerah penelitian adalah tanah gambut saprik dengan kedalaman 1-2 meter.

2.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan yaitu piezometer, Elitech data logger, gunting, timbangan analitik, pH meter, spidol, kertas lakmus, kertas penanda, *Spectrophotometer Analitic*, *Flamephotometer*, dan *Spectroscopy* (ICP), wadah saringan pupuk lepas terkendali dengan kerapatan saringan 60 mesh, 80 mesh dan 100 mesh. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu tanaman kelapa sawit yang sudah menghasilkan varietas DxP Pancur Tani PPKS berumur 8 tahun dan pupuk NPK (16:16:16).

Pembuatan wadah pupuk lepas terkendali dengan saringan 60 mesh, 80 mesh dan 100 mesh sesuai dengan jumlah perlakuan. Bahan pembuatan wadah saringan pupuk lepas terkendali adalah Pipa PVC ukuran 2 inci, sambungan pipa 2 inci, tutup pipa, lem pipa, sambungan kawat saringan 60 mesh, 80 mesh, 100 mesh, dan klem pengunci (Gambar 1).

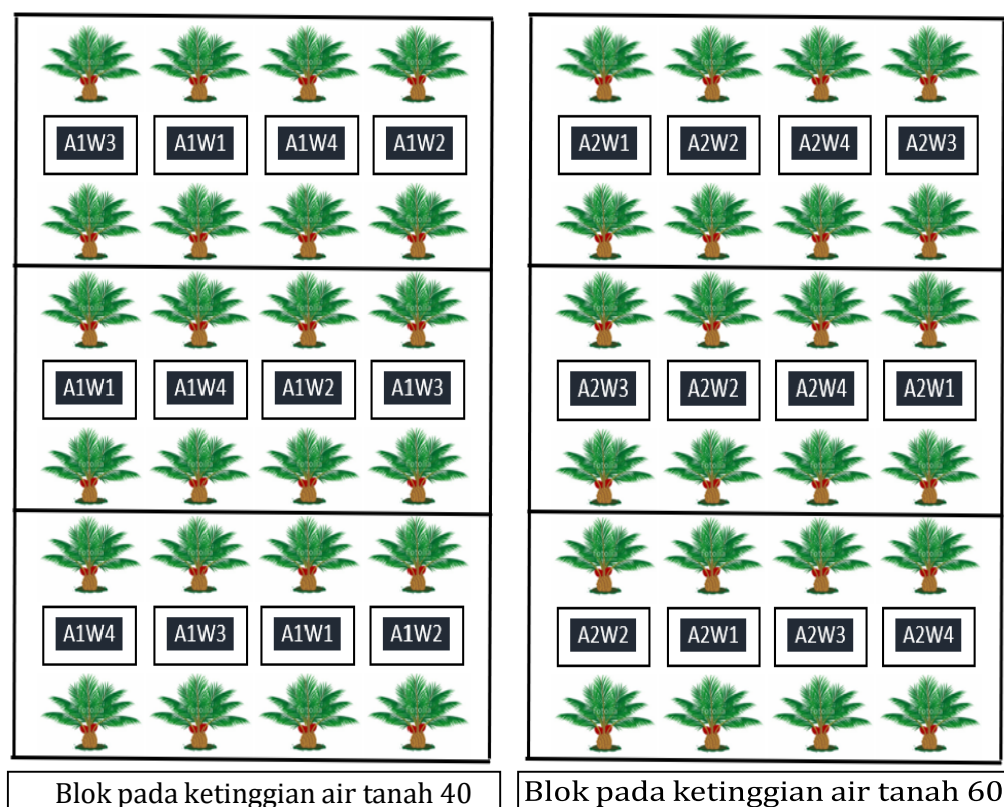
2.3 Metode Penelitian

Perlakuan dalam penelitian ini terdiri dari dua faktor, yaitu tinggi muka air tanah (main plot) dan jenis wadah pupuk saringan lepas terkendali (sub plot). Faktor pertama adalah tinggi muka air tanah dengan dua taraf, yaitu: (A1) = tinggi muka air 40 cm, (A2) = tinggi muka air 60 cm. Faktor kedua adalah jenis wadah pupuk saringan lepas terkendali (WPSLT) dengan empat taraf, yaitu: (W1) = tanpa wadah pupuk, (W2) = wadah pupuk dengan saringan berukuran 60 mesh, (W3) = wadah pupuk dengan saringan berukuran 80 mesh, (W4) = wadah pupuk dengan saringan berukuran 100 mesh.

Rancangan percobaan menggunakan rancangan Split Plot dengan setiap kombinasi perlakuan diulang sebanyak tiga kali, sehingga terdapat 24 unit percobaan. Setiap unit percobaan terdiri dari satu pohon sampel, sehingga total pohon sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebanyak 24 pohon. Ilustrasi denah dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Proses pembuatan wadah saringan pupuk lepas terkendali (1. Alat dan bahan, 2. Kerangka wadah dari atas, 3. Kerangka wadah dari bawah, 4. Kerangka wadah, 5. WSPLT, 6. WSPLT yang di isi pupuk NPK).



Gambar 2. Ilustrasi Denah Sampel di Lapangan

Pengaturan tinggi muka air tanah dilakukan secara terkendali menggunakan sistem pintu air dan saluran limpasan yang dipasang di setiap petak percobaan. Sumber air yang digunakan untuk mengatur tinggi muka air berasal dari parit-parit yang mengelilingi lahan penelitian. Tinggi muka air dalam setiap petak dijaga tetap stabil sesuai perlakuan 40 cm dan 60 cm dengan menyesuaikan bukaan pintu air dan tinggi limpasan. Dalam kondisi hujan maupun suhu tinggi, sistem pengaturan ini tetap mampu menjaga kestabilan tinggi muka air. Saat hujan, limpasan akan menyalurkan kelebihan air untuk mencegah kenaikan muka air yang berlebihan. Sebaliknya, pada suhu tinggi yang berpotensi meningkatkan evaporasi, pintu air dapat disesuaikan untuk mempertahankan suplai air dari parit sehingga tinggi muka air tetap berada pada tingkat yang ditentukan.

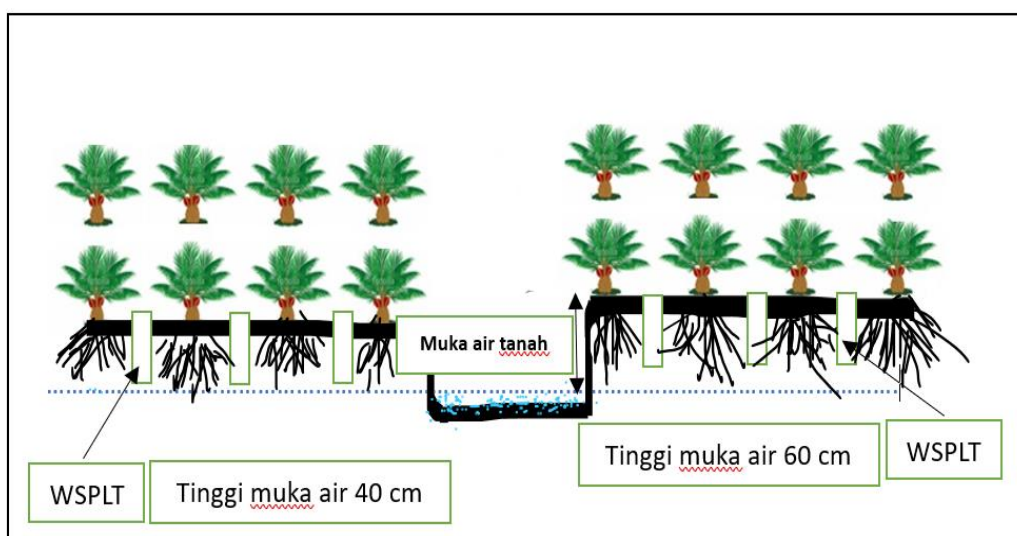
2.4 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian diawali dengan persiapan pembuatan wadah saringan pupuk lepas terkendali (WSPLT) menggunakan pipa PVC 2 inci dan saringan ukuran 60, 80, dan 100 mesh. Lokasi penelitian dipilih berdasarkan ketinggian muka air tanah (40 cm dan 60 cm). Selama penelitian, tinggi muka air tanah tersebut dipertahankan melalui pengelolaan drainase lahan secara rutin agar tetap sesuai dengan perlakuan. Selain itu, dilakukan pembersihan gulma dan pemasangan data logger untuk merekam suhu dan kelembaban lahan.

Penanaman wadah saringan pupuk lepas terkendali di empat sisi pada tanaman kelapa sawit dengan jarak 1,8 meter dan kedalaman 30 cm, penempatan wadah pupuk lepas terkendali dengan ukuran saringan 60, 80 dan 100 mesh sesuai dengan perlakuan (Gambar 3). Analisis awal sifat kimia tanah dan hara daun dilakukan sebelum perlakuan. WSPLT ditempatkan di empat sisi tanaman kelapa sawit, masing-masing pada jarak 1,8 meter dari pangkal batang dan kedalaman 30 cm. Pupuk NPK 16-16-16 sebanyak 750 g dimasukkan ke tiap WSPLT, sementara perlakuan kontrol dilakukan dengan metode konvensional (lubang tanam) (Gambar 4).



Gambar 3. Penempatan wadah di lapangan dengan tinggi air tanah 40 cm dan 60 cm



Gambar 4. Ilustrasi penempatan WSPLT pada tinggi muka air tanah yang berbeda

Pengamatan dilakukan setiap bulan dari Agustus hingga Oktober 2023 dengan interval 4 minggu sekali untuk mengukur kelarutan pupuk dari WSPLT, serta perubahan sifat kimia tanah dan kandungan hara daun sebelum dan sesudah perlakuan. pengambilan sampel anak daun berasal dari pelepah tanaman kelapa sawit ke-17. Pengambilan sampel daun diambil pada pagi hari sampai tengah hari jam 07.00-13.00 WIB. Pengambilan anak daun berasal dari titik ujung permukaan datar dari permukaan atas pelepah. Persiapan sampel tanaman sebelum dianalisis terlebih dahulu dibersihkan dengan air untuk menghilangkan debu-debu dan kotoran lainnya yang dapat memberikan kesalahan pada hasil analisis. Kandungan unsur hara yang akan dianalisis adalah N, P dan K. metode analisis kjeldahl dan destruksi basah dengan HNO_3 dan HClO_4 , unsur hara yang dianalisis adalah N, P, K.

2.5 Parameter Pengamatan

Pengamatan dilakukan selama tiga bulan setelah perlakuan dengan parameter yang diamati meliputi persentase kelarutan pupuk dari WPSLT, sifat kimia tanah, dan kadar hara daun kelapa sawit. Analisis nitrogen total dilakukan dengan metode Kjeldahl melalui tahapan destruksi, distilasi, dan titrasi. Fosfor dan kalium total dianalisis menggunakan metode destruksi basah dengan asam HNO_3 dan HClO_4 , sedangkan unsur hara lainnya seperti kalsium, magnesium, natrium, kapasitas tukar kation (KTK), dan kejenuhan basa (KB) dianalisis dengan metode serupa. Pengukuran pH (H_2O dan KCl) serta kandungan karbon organik dilakukan dengan metode Walkley dan Black. Data kelarutan pupuk dianalisis menggunakan analisis sidik ragam (ANOVA) sesuai dengan Rancangan

Split Plot untuk melihat pengaruh dan interaksi antara perlakuan tinggi muka air dan jenis wadah pupuk. Uji lanjut dilakukan dengan menggunakan Duncan's Multiple Range Test (DMRT) pada taraf kepercayaan 5% untuk membedakan pengaruh antar perlakuan secara lebih rinci (Gomez dan Gomez, 1984). Sementara itu, data kadar hara daun dianalisis secara deskriptif untuk mengamati pola kecenderungan kandungan unsur hara pada setiap perlakuan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Sifat Kimia Tanah

Sifat kimia tanah sebelum dan sesudah perlakuan WSPLT dan tinggi muka air dapat dilihat pada Tabel 1. Tabel 1 menjelaskan terjadi peningkatan nilai pH pada semua kombinasi perlakuan tinggi muka air tanah, nilai pH H₂O dan pH KCl pada semua kombinasi perlakuan tergolong dalam kriteria tanah masam. Kandungan N-total pada tanah di sekitar WSPLT diameter 15 cm kedalaman 30 cm pada tinggi muka air 40 cm dan 60 cm tergolong sangat tinggi masing-masing 1,32% dan 1,81% dari kondisi awal sebelum perlakuan yakni 0,73%. K total (mg.100 g⁻¹) pada tanah gambut penelitian pada kondisi awal dan setelah perlakuan pemupukan dengan WSPLT masih rendah tetapi ada trend peningkatan. K-dd (me.100 g⁻¹) pada kondisi awal yakni 0,42 (sedang) dan setelah perlakuan pemupukan dengan WSPLT menjadi yakni 6,02 (sangat tinggi) untuk tinggi muka air tanah 40 cm dan 3,00 (sangat tinggi) untuk tinggi muka air tanah 60 cm. Temuan menarik lainnya dalam penelitian ini menunjukkan adanya trend dalam kadar hara yang tertranslokasi di daun tanaman sawit, terkait dengan pengaturan tinggi muka air tanah pada kedalaman 40 cm dan 60 cm. Hal ini menunjukkan bahwa tinggi muka air tanah dapat memengaruhi proses translokasi nutrisi dalam tanaman sawit, terutama dalam hal kandungan hara nitrogen, fosfat, dan kalium.

Berdasarkan kriteria penilaian status kesuburan tanah (Balai Penelitian Tanah 2009), lahan perkebunan kelapa sawit dengan kedalaman muka air 40-60 cm tergolong lahan dengan status kesuburan rendah. Salah satu indikator yang mengindikasikan lahan tersebut dengan status kesuburan rendah ialah kandungan K₂O yang rendah akibat pH tanah yang rendah. Meskipun nilai KTK tanah tergolong tinggi, pada kondisi pH tanah yang rendah, jumlah ion H⁺ di dalam tanah menjadi dominan. Ion H⁺ tersebut bersaing dengan ion K⁺ pada permukaan koloid tanah, sehingga ion K⁺ tidak dapat terjerap secara efektif dan lebih banyak berada dalam bentuk larutan tanah. Akibatnya, kandungan K menjadi lebih mudah tercuci karena tidak terikat kuat pada kompleks pertukaran kation. Menurut Simatupang *et al.*, (2021) kandungan K-total tanah dipengaruhi oleh tipe koloid tanah, kondisi basah kering, pH tanah dan tingkat pelapukan. Hasil penelitian Permatasari *et al.*, (2021) melaporkan bahwa penurunan ketersediaan unsur K dalam tanah disebabkan pH tanah yang masam.

3.2 Persentase Kelarutan Pupuk dari WSPLT

Hasil analisis ragam pada taraf nyata 5% untuk variabel pengamatan persentase kelarutan pupuk menunjukkan tidak terdapat interaksi antara tinggi muka air dan wadah pupuk saringan lepas terkendali. Faktor tinggi muka air menunjukkan hasil berbeda tidak nyata sedangkan faktor wadah saringan pupuk lepas terkendali menunjukkan hasil yang berbeda nyata. Hasil uji lanjut DNMRT pada taraf 5% terhadap persentase kelarutan pupuk dari WPSLT dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Sifat Kimia Tanah Sebelum dan Sesudah Perlakuan WSPLT dan Tinggi Muka Air

Parameter	Sebelum Perlakuan Tinggi Muka Air (cm)		Sesudah Perlakuan Tinggi Muka Air (cm)			
	Kriteria*		40 cm	Kriteria*	60 cm	Kriteria*
pH (H ₂ O)	4,41	Sangat Masam	5,07	Masam	5,03	Masam
pH (KCl)	3,97	Sangat Masam	4,96	Masam	4,92	Masam
C-Organik (%)	10,42	Sangat Tinggi	11,88	Sangat Tinggi	11,71	Sangat Tinggi
N total (%)	0,73	Tinggi	1,32	Sangat Tinggi	1,81	Sangat Tinggi
P total (mg.100 g ⁻¹)	72,34	Sangat Tinggi	866,54	Sangat Tinggi	946,2	Sangat Tinggi
P tersedia (mg.100g ⁻¹)	7,73	Rendah	29,02	Sangat Tinggi	30,78	Sangat Tinggi
K total (mg.100 g ⁻¹)	1,46	Sangat Rendah	10,85	Rendah	9,94	Sangat Rendah
K-dd (me.100 g ⁻¹)	0,42	Sedang	6,02	Sangat Tinggi	3	Sangat Tinggi
Ca-dd (me.100 g ⁻¹)	2,24	Rendah	4,44	Rendah	3,15	Rendah
Mg-dd (me.100 g ⁻¹)	0,66	Rendah	2,27	Tinggi	2,13	Tinggi
Na-dd (me.100 g ⁻¹)	0,04	Sangat Rendah	0,14	Rendah	0,21	Rendah
KTk (me.100 g ⁻¹)	32,45	Sangat Tinggi	55,2	Sangat Tinggi	46,6	Sangat Tinggi
KB (%)	10,33	Sangat Rendah	23,31	Rendah	18,21	Sangat Rendah

Keterangan* : Kriteria sifat kimia tanah Balai Penelitian Tanah (2009).

Tabel 2. Persentase Kelarutan Pupuk akibat Perlakuan Tinggi Muka Air dan Saringan

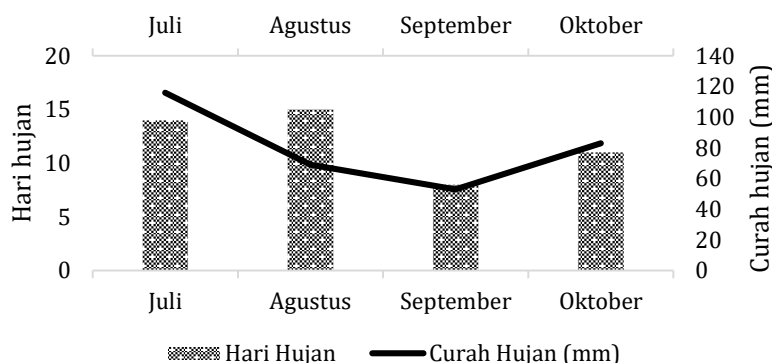
Tinggi Muka Air (cm)	Rata-Rata
40	55,21 a
60	57,57 a
Wadah Saringan Pupuk Lepas Terkendali (mesh)	Rata-Rata
0	100,00 a
60	44,07 b
80	41,62 b
100	39,86 b

Keterangan : Angka-angka pada kolom yang diikuti huruf kecil yang sama berbeda tidak nyata menurut uji lanjut DNMR dengan taraf 5%.

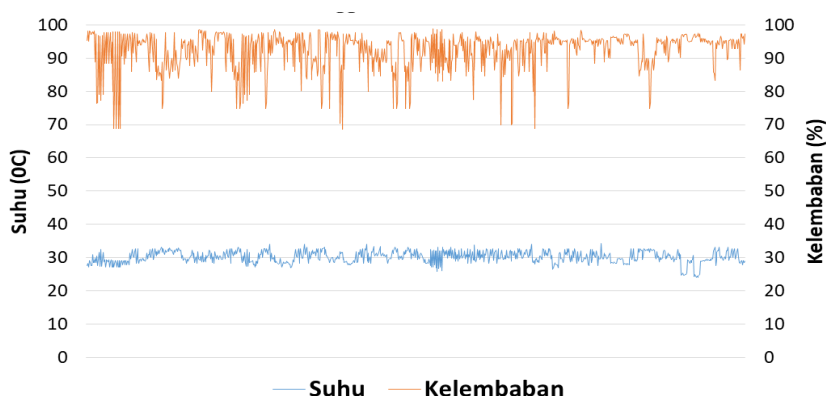
Tabel 2 menunjukkan bahwa pemberian pupuk menggunakan WSPLT dengan ukuran saringan yang berbeda menghasilkan persentase kelarutan yang tidak berbeda. Hal ini dapat di definisikan bahwa aplikasi pupuk tanpa wadah pupuk memiliki persentase kelarutan lebih tinggi dibandingkan menggunakan WSPLT. Persentase kelarutan pupuk dengan aplikasi WSPLT dipengaruhi oleh kerapatan saringan dan partikel pupuk, dimana semakin tinggi kerapatan saringan maka pupuk akan semakin lama larut (*slow release*). Kelarutan pupuk dinilai berdasarkan unsur hara pada pupuk tidak mudah larut terkena air hujan dan tersedia oleh akar tanaman. Penggunaan WSPLT pada tinggi muka air 40 cm dan 60 cm menghasilkan persentase kelarutan pupuk yang tidak berbeda. Selama masa penelitian (Agustus–Oktober), berdasarkan data curah hujan dari stasiun terdekat pada Gambar 4, terlihat hari hujan setiap bulan berkisar antara 8-15 hari hujan dengan rata-rata curah hujan bulannya berkisar antara 53-116 mm. Curah hujan bulanan tertinggi terjadi pada bulan Juli dengan curah hujan 116 mm dengan jumlah hari hujan 14 hari dan digolongkan dalam bulan basah. Terlihat pada Gambar 5 dan Gambar 6, suhu dan kelembaban relatif sama antara tinggi muka air 40 cm dengan 60 cm. Penggunaan WSPLT berperan penting dalam menahan pelarutan pupuk secara berlebih selama periode hujan, sehingga unsur hara tetap tersedia bagi tanaman dan tidak mudah tercuci oleh air hujan.

Gambar 6 dalam hasil penelitian ini, dapat diamati bahwa terdapat tren perilisan pupuk yang konsisten dari minggu pertama hingga minggu ke tiga belas pada kondisi perilisan pupuk berdasarkan waktu dan sisa pupuk dalam tanah (kg) di muka air tanah yang berbeda. Analisis data menunjukkan bahwa seiring berjalannya waktu, terdapat perubahan yang signifikan dalam jumlah pupuk yang dilepaskan ke dalam tanah, mencakup rentang waktu tersebut. Meskipun terdapat tren

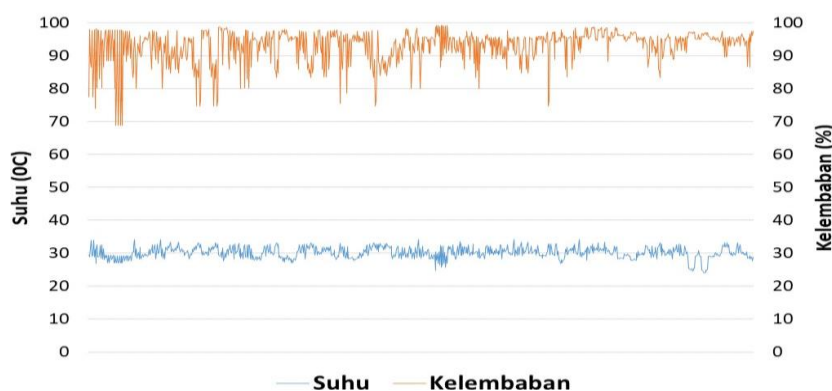
perilisan pupuk yang dapat diidentifikasi, hasil menunjukkan bahwa tidak ada trend yang signifikan antara muka air tanah 40 cm dan muka air tanah 60 cm. Hal ini mengindikasikan bahwa variasi kedalaman muka air tanah pada kisaran tersebut tidak secara nyata memengaruhi pelepasan pupuk dalam kondisi penelitian yang digunakan. Temuan ini memberikan wawasan berharga terkait hubungan dinamis antara waktu pemberian pupuk dan sisa pupuk dalam tanah, sementara pada saat yang sama menegaskan bahwa perbedaan kedalaman air tanah tidak secara signifikan mempengaruhi tren perilisan pupuk dalam kondisi eksperimental yang diberikan. Implikasinya dapat memandu pendekatan praktis dalam manajemen pupuk tanaman pada kondisi tertentu, dengan memperhitungkan informasi mengenai waktu pemberian pupuk.



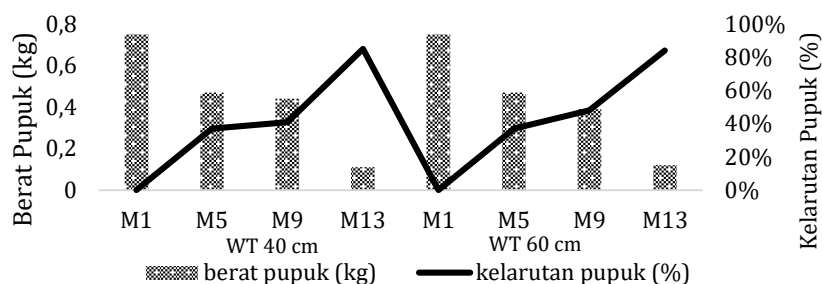
Gambar 5. Data Curah Hujan dan Hari Hujan dari bulan Juli-Oktober tahun 2023.



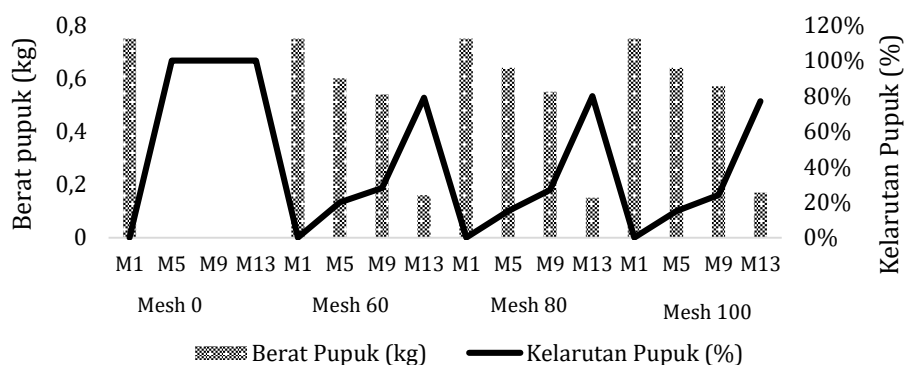
Gambar 6. Monitoring Suhu dan Kelembaban (Juli-Oktober 2023) Tinggi Muka Air 40 cm.



Gambar 7. Monitoring Suhu dan Kelembaban (Juli-Oktober 2023) Tinggi Muka Air 60 cm.



Gambar 8. Kadar pupuk berdasarkan Tinggi muka Air tanah, waktu dan sisa pupuk dalam tanah (M1= Minggu ke 1, M5= Minggu ke 5, M9= Minggu ke 9, M13= Minggu ke 13).



Gambar 9. Kadar pupuk berdasarkan Subplot (M1= Minggu ke 1, M4= Minggu ke 4, M9= Minggu ke 9, M13= Minggu ke 13).

Gambar 7 menunjukkan tren perilisan pupuk yang konsisten dari minggu pertama hingga minggu ke tiga belas pada kondisi perilisan pupuk berdasarkan waktu dan sisa pupuk dalam tanah (kg). Analisis data menunjukkan bahwa seiring berjalannya waktu, terdapat perubahan yang signifikan dalam jumlah pupuk yang terlarut ke dalam tanah, mencakup rentang waktu tersebut. Perlakuan A2W2 dan A2W4 memberikan kelarutan pupuk lebih rendah dibanding A2W3, Perlakuan ukuran saringan pupuk A2W2, A2W3, A2W4 memberikan persentase kelarutan pupuk yang lebih rendah dibanding tanpa WSPLT pada tinggi muka air tanah 60 cm. Perlakuan A1W4 memberikan persentase kelarutan pupuk lebih rendah dibanding perlakuan A1W2 dan A1W3, Perlakuan ukuran saringan pupuk A1W2 memberikan persentase kelarutan pupuk lebih rendah dibanding perlakuan A1W3, Perlakuan ukuran saringan A1W2, A1W3, A1W4 memberikan persentase kelarutan pupuk yang lebih rendah dibanding tanpa WSPLT pada tinggi muka air tanah 40 cm.

Hashim *et al.*, (2019) melaporkan bahwa muka air tanah yang berfluktuasi pada tanah gambut menunjukkan perbedaan dinamika N, P dan K serta sifat kimia tanah. Dengan mempertahankan muka air tanah pada ketinggian 40 cm, konsentrasi N total dan mineral-N (NH_4^+ dan NO_3^-) dapat dimaksimalkan. Fluktuasi permukaan air pada kedalaman 40-80 cm memungkinkan pelepasan basa yang dapat ditukar (K, Ca, Mg, dan Na) secara bertahap disertai dengan lebih sedikit pencucian.

3.3 Kadar Hara Daun

Kadar hara pada daun kelapa sawit sebelum dan sesudah perlakuan tinggi muka air dan aplikasi WSPLT dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Kadar hara daun sebelum dan sesudah perlakuan WSPLT dan tinggi muka air tanah.

Kombinasi Perlakuan	Kadar Hara (%) Sebelum			Kadar Hara (%) Sesudah		
	N	P	K	N	P	K
A1W1	2,83 ^o	0,134 ^d	0,449 ^d	2,78 ^o	0,185 ^o	0,789 ^o
A1W2	2,69 ^o	0,158 ^o	0,590 ^d	3,33 ^b	0,182 ^o	0,991 ^o
A1W3	2,74 ^o	0,147 ^o	0,545 ^d	3,14 ^b	0,182 ^o	0,992 ^o
A1W4	2,76 ^o	0,100 ^d	0,412 ^d	3,17 ^b	0,195 ^o	0,709 ^d
A2W1	2,77 ^o	0,158 ^o	0,669 ^d	2,60 ^o	0,140 ^o	0,428 ^d
A2W2	2,78 ^o	0,171 ^o	0,545 ^d	3,14 ^b	0,171 ^o	0,748 ^d
A2W3	3,40 ^b	0,192 ^o	0,751 ^d	3,26 ^b	0,164 ^o	0,841 ^o
A2W4	2,71 ^o	0,171 ^o	0,542 ^d	3,10 ^b	0,155 ^o	0,824 ^o

Keterangan : *Kriteria kadar hara daun (Nazari, 2020): d = defisiensi; o = optimum, b = berlebihan. A: tinggi muka air, W: WSPLT.

Kadar hara N pada daun kelapa sawit sesudah perlakuan tinggi muka air dan aplikasi WSPLT disajikan pada Tabel 3. Terjadi peningkatan kadar hara N daun dan tergolong ke dalam kategori optimum–berlebihan. Data kemudian dianalisis menggunakan statistik deskriptif. Berdasarkan hasil analisis statistik deskriptif, perlakuan tanpa WSPLT dengan ketinggian muka air 40 cm dan 60 cm menghasilkan kadar hara N daun nyata lebih rendah dibandingkan kombinasi lainnya. Hal ini mengindikasikan bahwa penggunaan WSPLT mampu meminimalisir pencucian hara N dan meningkatkan kemampuan slow release terhadap pupuk yang diberikan pada lahan gambut. Karakteristik lahan penelitian memiliki pH tanah yang sangat masam dan kadar Na-dd rendah (Tabel 1) mengakibatkan rentan terjadinya pencucian hara. Kehilangan nitrogen sebagian besar dalam bentuk NH_4^+ dan NO_3^- . Ion bermuatan negatif tidak dapat terikat pada gugus fungsi di tanah gambut sehingga rentan terhadap pencucian. Batubara *et al.*, (2024) melaporkan bahwa unsur hara N dapat larut melalui aliran permukaan atau bawah permukaan tanah. Penurunan kadar N disebabkan oleh aliran permukaan dan terkadang karena reduksi N melalui denitrifikasi. Sebagian besar N terdapat pada permukaan tanah gambut cepat tercuci, sehingga mempengaruhi kualitas air permukaan (Droogers *et al.*, 2007). Unsur N memiliki peran penting, apabila serapan N rendah akan menyebabkan proses fotosintesis menjadi rendah karena pembentukan dan kinerja klorofil rendah (HS *et al.*, 2023).

Penggunaan WPSLT 60 dengan ketinggian muka air 40 cm menunjukkan kadar hara N lebih tinggi dibandingkan kombinasi WPSLT lainnya, namun secara statistik tidak berbeda nyata. Hal ini mengindikasikan bahwa dengan WPSLT, pemberian pupuk NPK lebih tersedia dan mampu meminimalisir pencucian hara. Penelitian ini sejalan dengan pernyataan Mulyati *et al.*, (2021) pemberian pupuk terkendali dapat meningkatkan pertumbuhan dan mengendalikan laju serapan hara pada tanaman.

Kadar hara P pada daun kelapa sawit sesudah perlakuan tinggi muka air dan aplikasi WSPLT disajikan pada Tabel 3. Terjadi peningkatan kadar P daun pada semua perlakuan menjadi kategori optimum. Data kemudian dianalisis menggunakan Statistik Deskriptif. Berdasarkan hasil analisis statistik deskriptif, perlakuan tinggi muka air 40 cm dan WSPLT 100 menghasilkan kadar hara P daun nyata lebih tinggi dibandingkan kombinasi lainnya. Berdasarkan kandungan sifat kimia tanah (Tabel 1) kadar P total dan P tersedia tergolong sangat tinggi dan aplikasi WSPLT 100 memiliki persentase kelarutan pupuk lebih rendah sehingga bisa menyediakan hara P secara kontinu dibandingkan tanpa WSPLT.

Perlakuan tanpa WSPLT pada ketinggian muka air 60 menghasilkan kadar hara P daun berbeda nyata lebih rendah dibandingkan kombinasi lainnya. Hal ini disebabkan oleh tingkat kelarutan yang tinggi sehingga pemberian NPK menjadi cepat tersedia sehingga ion fosfat mudah tercuci akibat air hujan. Obour *et al.* (2011) menyatakan bahwa kehilangan P lebih tinggi pada kedalaman tanah yang lebih tinggi (<30 cm). Temuan ini serupa dengan Miyamoto *et al.*, (2013) yang melaporkan tingginya

kehilangan P akibat pencucian dari tanah gambut kondisi tergenang dibandingkan dengan kondisi tidak banjir. Sebagian hara P pada lahan gambut tersedia dalam bentuk organik dan harus dimineralisasi oleh mikroba sehingga dapat diserap oleh akar tanaman, jika serapan P akan menghambat metabolisme pada tanaman (Manurung, 2023). Proses mineralisasi pada lahan gambut yang memiliki pH sangat masam dan kondisi lebih banyak air dapat menurunkan aktivitas mikroorganisme sehingga proses pelapukan menjadi lebih lambat. Daerah yang memiliki curah hujan tinggi, unsur hara akan mengalami pencucian dan larut pada horizon tanah yang lebih dalam sehingga menjadi tidak dapat diserap oleh akar tanaman (Handayanto *et al.*, 2017). Penelitian ini sejalan dengan Saputra *et al.*, (2018) yang melaporkan bahwa faktor yang mempengaruhi ketersediaan P tanah antara lain C-organik tinggi sehingga proses dekomposisi terhambat. Menurut (Idawati *et al.*, 1996) akibat fiksasi P dalam tanah unsur P yang diberikan tidak seluruhnya tersedia bagi tanaman sehingga efisiensi pemupukan P sangat rendah, yaitu kurang dari 10%. Penimbunan P dalam tanah dari waktu ke waktu selama pemberian pupuk P menyebabkan tingginya fiksasi P dalam tanah (Fadillah *et al.*, 2022).

Tabel 3 menunjukkan bahwa pada lahan perkebunan kelapa sawit yang dijadikan lahan penelitian kadar hara P pada daun pelepah ke-17 sebelum aplikasi secara umum tergolong optimum, namun ada dua tanaman yang akan diberi perlakuan tinggi muka air 40 cm tanpa WSPLT dan dengan perlakuan WSPLT 100 mesh mengalami defisiensi kadar serapan P pada daun tanaman. Kadar hara K pada daun kelapa sawit sesudah perlakuan tinggi muka air dan aplikasi WSPLT disajikan pada Tabel 3. Terjadi peningkatan kadar hara K daun setelah perlakuan dibandingkan sebelum perlakuan tinggi muka air dan WSPLT, meskipun ada beberapa perlakuan yang masih tergolong dalam kategori defisiensi di antaranya A1W4, A2W1 dan A2W2. Data kemudian dianalisis menggunakan statistik deskriptif. Berdasarkan hasil analisis statistik deskriptif kombinasi WSPLT 80 pada ketinggian muka air 40 cm menghasilkan kadar hara K daun berbeda nyata lebih tinggi sedangkan kombinasi tanpa WSPLT pada ketinggian muka air 60 menghasilkan kadar hara K daun berbeda nyata lebih rendah dibandingkan kombinasi lainnya. Aplikasi WSPLT 80 dengan ketinggian muka air 40 cm dianggap mampu mempertahankan unsur K^+ dari proses pencucian. Menurut Hakim *et al.*, (1986) konduktivitas hidrolik pada lahan gambut menyebabkan aliran air dapat mengurangi ketersediaan kalium di dalam tanah.

Hasil kadar hara di dalam tanah (Tabel 1) menunjukkan bahwa kadar K total tergolong sangat rendah sampai rendah dan tanaman kelapa sawit mengalami defisiensi hara K. Kedalaman tanah mempengaruhi unsur K yaitu semakin tinggi kedalaman tanahnya maka nilai unsur K semakin menurun (Sari *et al.*, 2016). Tanaman yang kekurangan hara K akan mengakumulasi karbohidrat lebih rendah karena fotosintesis berjalan lambat (Handono *et al.*, 2023). Hasil penelitian Lubis (2018) pertumbuhan tanaman kelapa sawit sangat dipengaruhi oleh tinggi muka air tanah gambut. Situmorang (2015) melaporkan bahwa lahan gambut dengan tinggi muka air 60–70 cm memiliki pH yang lebih rendah dibanding lahan gambut dengan tinggi muka air tanah 40–50 cm. Muka air lahan gambut >40 cm mengindikasikan bahwa tanah gambut menjadi masam akibat tingginya reaksi pelepasan ion H^+ dikarenakan banyak kandungan air tanah (Prabowo dan Subantoro, 2017).

Lahan penelitian secara keseluruhan mengalami defisiensi hara kalium. Rendahnya kalium dapat dibuktikan hasil analisis kimia yang menunjukkan nilai K-total sangat rendah ($1,46 \text{ mg.}100 \text{ g}^{-1}$). Hal disebabkan tanah gambut tidak dapat menyerap K yang dapat dipertukarkan karena kapasitas tukar kation yang tinggi. Pengaruh curah hujan yang tinggi dan lemahnya daya tarik antara ion K dan bahan organik yang mempercepat pencucian. Nawaz *et al.*, (2010) melaporkan bahwa pencucian K bergantung pada tekstur tanah, pH, dan ketersediaan K dalam tanah.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini yaitu pemberian pupuk menggunakan WSPLT menghasilkan persentase kelarutan lebih rendah dibandingkan tanpa WSPLT. Penggunaan WSPLT dengan ukuran saringan yang berbeda menghasilkan persentase kelarutan yang tidak berbeda.

Kondisi kadar hara daun N, P dan K pada tinggi muka air tanah 40 cm setelah 3 bulan aplikasi pupuk NPK terjadi peningkatan kadar hara N daun berkisar antara 15% sampai 23,79%, hara P daun berkisar antara 15% sampai 24%, dan hara K daun berkisar antara 68% sampai 82%. Sedangkan pada tinggi muka air tanah 60 cm terjadi peningkatan pada kadar hara N daun berkisar antara 13% sampai 14%, hara P daun tidak terjadi peningkatan, dan hara K daun berkisar antara 12% sampai 52% pada daun kelapa sawit.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Ketua Prodi Magister Ilmu Pertanian Pascasarjana Universitas Riau dan semua pihak yang telah memfasilitasi dan berkontribusi dalam pelaksanaan penelitian ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Balai Penelitian Tanah. 2009. *Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk Edisi Ke-2*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Departemen Pertanian. Bogor.
- BB Litbang SDLP. 2011. *Peta Lahan Gambut Indonesia*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor.
- Batubara, S.F., S.E Ulina, N. Chairuman, J.M. Tobing, V. Aryati, E.D. Manurung, H.F. Purba, dan D. Parhusip. Evaluasi status hara makro nitrogen, fosfor dan kalium di lahan sawah irigasi Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara. *Jurnal Agrikultura*. 35(1): 59-70
- Daatselaar, C.H.G., J.R. Reijers, J. Oenema, G. Holshof, W. van den Berg, dan G.H. Ros. 2015. Variation in nitrogen use efficiencies on Dutch dairy farms. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. Wiley. 95(15): 3055-3058.
- Droogers, C.L van B., H.A van Hardeveld, G.A.P.H. van den Eertwegh, G.L. Velthof, and O. Oenema. 2007. Leaching of solute from intensively managed peat soil to surface water. *Water, Air, and Soil Pollution*. 182: 291-301.
- Fadillah, N., M. Utomo, N.A. Afrianti, & S. Sarno. 2022. Perubahan sifat kimia tanah pada profil tanah akibat penerapan sistem olah tanah dan pemupukan N jangka panjang pada lahan pertanaman jagung (*Zea mays* L.) di Kebun Percobaan Politeknik Negeri Lampung. *Jurnal Agrotek Tropika*. 10(4): 627-632.
- Gomez, K.A., dan A.A. Gomez. 1984. *Statistical Procedures for Agricultural Research*. 2nd Ed. John Wiley dan Sons. New York.
- Hakim, N.Y., A.M. Nyakpa, S. Lubis, R. Ghani, A. Saul, G.B. Diha, H.H. Hong dan Barley. 1986. *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Handayanto, Eko, N. Muddarisna, and A. Fiqri. 2017. *Pengelolaan Kesuburan Tanah*. Universitas Brawijaya Press.
- Handono, S.T., K. Hendarto, & M. Kamal. 2013. Pola pertumbuhan dan produksi tanaman cabai merah keiriting (*Capsicum annuum* L.) akibat aplikasi kalium nitrat pada daerah dataran rendah. *Jurnal Agrotek Tropika*. 1(2): 140-146
- Hashim S.A., C.B.S. Teh, dan O.H. Ahmed. 2019. Influence of water table depths, nutrients leaching losses, subsidence of tropical peat soil and oil palm (*Elaeis Guineensis* jacq.) Seedling growth. *Malaysian Journal of Soil Science*. 23: 13-30.

- Hasnol, O., A.T. Mohammed, F.M. Darus, M.H. Harun, and M.P. Zambri. 2011. Best management practices for oil palm cultivation on peat: ground water table maintenance in relation to peat subsidence and estimation of CO emissions at 2 Sessang, Sarawak. *Journal of Oil Palm Research*. 23(2): 1078-1086.
- HS, Ei. S.D., P. Yuidono, E.T.S. Puitra, B.H. Puirwanto, & T. Toyip. 2023. Pengaruh status kesuburan tanah terhadap hasil dan kualitas biji tiga klon kakao (*Theobroma cacao* L.). *Jurnal Agrotek Tropika*. 11(3): 469-476.
- Idawati, A., Haryanto, dan H. Rasjid. 1996. *Serapan Hara dan Pertumbuhan Padi Sawah Sehubungan dengan Status Unsur Hara P pada Tanah Pustaka Negara*. Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi. Batan. pp. 103-108.
- Kassim, N.Q.B. dan A. Yaacob. 2019. Nutrients dynamics in peat soil: influence of fluctuating water table. Faculty of plantation and agrotechnology, uitm cawangan melaka kampus jasin, 77300, Merlimau, Melaka, Malaysia. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 32(7): 1-7
- Lim, K.H., S.S. Lim, S.S., F. Parish, dan R. Suharto. 2012. *RSPO Manual on Best Management Practices (BMPs) for Existing Oil Palm Cultivation on Peat*. RSPO. Kuala Lumpur.
- Lubis, A.U. 2018. *Kelapa Sawit Di Indonesia*. Pusat Penelitian Perkebunan Marihat Pematang Siantar, Sumatera Utara.
- Manurung, A.N.H., S. Suiwanto, S. Yahya, & B. Nugroho. 2023. Efisiensi penggunaan radiasi matahari dan partisi bahan keiring bibit kelapa sawit pada berbagai dosis pupuk nitrogen dan fosfor. *Jurnal Agrotek Tropika*. 12(1): 55-62.
- Manurung, G.M.E., M. Ahmad, dan S.I. Saputra. 2012. *Pengelolaan Perkebunan Kelapa Sawit Berkelanjutan*. UR Press. Pekanbaru.
- Miyamoto, E., H. Ando, K. Kakuda, F.S. Jong and A. Watanabe. 2013. Fate of microelements applied to a tropical peat soil: column experiment. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 44(17): 2524-2534.
- Mutalib, A.A., L.S. Lim, M.H. Wong, and L. Kononvai. 1992. *Characteristics Distribution and Utilization of Peat In Malaysia*. p 7-16 in Aminuddin (ed.). Proc. Int. Symp. On Tropic Peatland, Kuching, Malaysia.
- Mulyati, A.B. Baharuddin, and R.S. Tejawulan. 2021. Serapan hara N, P, K dan pertumbuhan tanaman jagung pada berbagai dosis pupuk anorganik dan organik di tanah inceptisol. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*. Spesial Issue. pp. 55-66.
- Nawaz, R., H. Garivait, P.A. Pongsatorn. 2010. Impacts of precipitation on leaching behavior of plant nutrients in agricultural soils of the tropics. In *Proceedings of the 2010 2nd International Conference on Chemical, Biological and Environmental Engineering, Cairo, Egypt, 2-4 November 2010*. pp. 336-340.
- Nazari, Y.A. 2020. Kondisi status hara tanah dan jaringan tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) BPSBP Kalimantan Selatan. *Jurnal Zira'ah*. 45(3): 274-284
- Noor, M., Saleh, dan H. Syahbuddin. 2013. *Penggunaan dan Permasalahan Lahan Gambut*. Dalam Lahan Gambut: Pemanfaatan dan Pengembangannya untuk Pertanian. Kanisius. Yogyakarta.
- Nugraha, M. Imam, Syaifina, L. Anwar, Syaiful. 2017. *Kenaikan Air Kapiler di Tanah Gambut pada Berbagai Ketinggian Muka Air Tanah*. IPB University.
- Obour, A. K., M.L. Silveira, J.M. Vendramini, L.E. Sollenberger, and G.A. O'Connor. 2011. Fluctuating water table effect on phosphorus release and availability from a Florida Spodosol. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 91(2): 207-217.
- Permatasari, N.A., D. Suswati, F.B. Arief, A.A. Aspan, dan A. Akhmad. 2021. Identifikasi beberapa sifat kimia tanah gambut pada kebun kelapa sawit rakyat di Desa Rasau Jaya II Kabupaten Kubu Raya. *Agrotech: Jurnal Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Purwokerto*. 23(2): 199- 207.

- Prabowo, R., dan R. Subantoro. 2017. Analisis tanah sebagai indikator tingkat kesuburan lahan budidaya pertanian di kota Semarang. *Cendekia Eksakta*. 2(2):59-64.
- Pusat Penelitian Tanah. 1995. *Kombinasi Beberapa Sifat Kimia Tanah dan Status Kesuburannya*. Pusat Penelitian Tanah. Bogor.
- Rosenani, A.B., R. Rovica, P.M. Cheah, dan C.T. Lim. 2016. Pertumbuhan kinerja dan serapan hara bibit kelapa sawit pada tahap prenursery yang dipengaruhi oleh kompos limbah kelapa sawit dalam media tanam. *Jurnal Internasional Agronomi*. 2016(3): 1-8.
- Sari, D.N., S. Yusnaini, dan A. Niswati. 2016. Pengaruh dosis dan ukuran butir pupuk fosfat super yang diasidulasi limbah cair tahu terhadap serapan P dan pertumbuhan tanaman jagung (*Zea mays* L.). *Jurnal Agrotek Tropika*. 4(1): 81-85.
- Savci, S. 2012. Investigasi pengaruh pupuk kimia terhadap lingkungan. *Prosedur APCBEE*. 2012. 1 :287–292.
- Simatupang, R.N., N.M. Trigunasih, dan I.D Arthagama. 2021. Evaluasi status kesuburan tanah pada penggunaan lahan sawah di Subak Kecamatan Denpasar Utara Berbasis sistem informasi geografis (SIG). *Nandur*. 1(3): 112-121.
- Situmorang, P.C. 2015. Pengaruh kedalaman muka air tanah dan mulsa organik terhadap sifat fisik dan kimia tanah gambut pada perkebunan kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq). *Skripsi*. Universitas Riau. Pekanbaru.
- Tarigan, B., dan T. Sipayung. 2011. *Kontribusi Perkebunan Kelapa Sawit dalam Perekonomian dan Lingkungan Hidup Sumatera Utara*. Institut Pertanian Bogor Press Bogor.
- Yang, X., R. Jiang, Y. Lin, Y. Li, J. Li, B. Zhao. 2018. Nitrogen release characteristics of polyethylene-coated controlled-release fertilizers and their dependence on membrane pore structure. *Particuology*. (36): 158– 169.