

PROPOSAL PENELITIAN

PENGARUH KOTORAN BURUNG WALET DAN ABU TERBANG BATUBARA TERHADAP EFISIENSI FOSFOR PADA TANAH ULTISOL DENGAN TANAMAN UJI PEPAYA

Oleh

FACHRIE RAIHANDY

NIM. 2503018011



Pembimbing I : Dr. Ir. H. Fahrunsyah, M.P.
Pembimbing II : Dr. Nurul Puspita Palupi, S.P., M.Si

**PROGAM STUDI
MAGISTER PERTANIAN TROPIKA BASAH
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS MULAWARMAN
SAMARINDA
2026**

PROPOSAL PENELITIAN

PENGARUH KOTORAN BURUNG WALET DAN ABU TERBANG BATUBARA TERHADAP EFISIENSI FOSFOR PADA TANAH ULTISOL DENGAN TANAMAN UJI PEPAYA

Oleh

FACHRIE RAIHANDY

NIM. 2503018011



Pembimbing I : Dr. Ir. H. Fahrunsyah, M.P.
Pembimbing II : Dr. Nurul Puspita Palupi, S.P., M.Si

**PROGAM STUDI
MAGISTER PERTANIAN TROPIKA BASAH
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS MULAWARMAN
SAMARINDA
2026**

HALAMAN PERSETUJUAN PROPOSAL PENELITIAN

Judul Proposal Penelitian : Pengaruh Kotoran Burung Walet dan Abu Terbang Batubara Terhadap Efisiensi Fosfor pada Tanah Ultisol dengan Tanaman Uji Pepaya
Nama Mahasiswa : Fachrie Raihandy
Nomor Induk Mahasiswa : 2503018011
Program Studi : Magister Pertanian Tropika Basah

Menyetujui,

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Ir. H. Fahrunsyah, M.P.
NIP. 19671108 199203 1 002
Tanggal

Dr. Nurul Puspita Palupi, S.P., M.Si
NIP. 19750829 200604 2 003
Tanggal

Mengetahui,
Koordinator Program Studi Magister Pertanian Tropika Basah

Dr.Ir.Ni'matuljannah Akhsan, M.P
NIP. 19640317 199002 2 001
Tanggal

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN PERSETUJUAN PROPOSAL PENELITIAN	iii
DAFTAR ISI.....	4
DAFTAR TABEL	5
DAFTAR LAMPIRAN	7
I. PENDAHULUAN	8
A. Latar Belakang.....	8
B. Perumusan Masalah	9
C. Tujuan Penelitian	10
D. Manfaat	10
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	11
A. Tanaman Pepaya (<i>Carica papaya L.</i>)	11
B. Tanah Ultisol.....	13
C. Kotoran Burung Walet (KBW).....	16
D. Abu Terbang Batubara (ATB)	17
E. Fosfor	19
F. Efisiensi Pemupukan Fosfor	19
III. KERANGKA PEMIKIRAN DAN HIPOTESIS	23
A. Kerangka pemikiran.....	23
B. Hipotesis	23
IV. METODE PENELITIAN.....	25
A. Waktu dan Tempat.....	25
B. Bahan dan Alat.....	25
C. Rancangan Percobaan	25
D. Prosedur Penelitian	26
E. Analisis Kimia Tanah dan Jaringan Tanaman	27
F. Metode Analisis	27
DAFTAR PUSTAKA	28
LAMPIRAN.....	32

DAFTAR TABEL

Nomor	Halaman
Tabel 1. Luas berdasarkan batuan pembentuk tanah (ha).....	13
Tabel 2. Pengukuran analisis awal kimia tanah.....	27
Tabel 3. Pengukuran analisis akhir kimia tanah dan jaringan tanaman	27

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Halaman
Gambar 1. Kerangka Pikir Penelitian.....	24

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Halaman
Lampiran 1. Jadwal Penelitian.....	32

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Tanah merupakan bahan alami yang terdiri atas komponen-komponen padat, cair, dan gas yang mempunyai sifat dan perilaku yang dinamis. Tanah dan air merupakan sumber alam yang menyokong kehidupan berbagai makhluk hidup di bumi, sebagai media tanam bagi tanaman, dan tempat berpijak makhluk hidup di atasnya, termasuk manusia (Arsyad, 2010). Tanah yang mendominasi Kalimantan Timur ialah tanah berordo Ultisol yang memiliki tingkat kesuburan kimia rendah. Pemanfaatan Ultisol sebagai media tanam dihadapkan pada berbagai kendala, antara lain tingkat kemasaman tanah yang tinggi, struktur tanah yang kurang baik, dan kandungan bahan organik yang rendah. Upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan produktivitas Ultisol adalah dengan menerapkan teknik budidaya tanaman yang baik dan benar, salah satunya melalui pemupukan yang bersifat organik. Pemberian bahan organik pada Ultisol berfungsi untuk menambah unsur hara, menggemburkan tanah, serta memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah (Talino, 2013).

Salah satu permasalahan Ultisol ialah ketersediaan fosfor (P) yang rendah. Fosfor bersifat sangat reaktif dan hanya tersedia untuk diserap tanaman pada kisaran yang sempit sekitar pH netral. Pada tanah yang memiliki pH rendah maka P akan terikat oleh aluminium (Al) dan Besi (Fe) sehingga akan menyebabkan P tidak tersedia untuk diserap tanaman. (Lopez-Bucio et al., 2000; Fahrunsyah et al., 2021). Upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan produktivitas Ultisol di antaranya melalui penggunaan pembenah tanah (amelioran). Penggunaan kotoran burung walet (KBW) dan penggunaan abu terbang batubara (ATB) dapat dipertimbangkan karena mempunyai kemampuan untuk meningkatkan kesuburan Ultisol terutama dalam meningkatkan pH dan P-tersedia.

Penggunaan KBW dan penggunaan ATB dapat dipertimbangkan sebagai bahan perbaikan sifat kimia tanah karena masing-masing bahan mempunyai keunggulan. Kotoran burung walet (KBW) ini memiliki C-Organik 36,17 %, Nitrogen (N) 7,55 %, dan C/N Rasio 4,79 dengan pH 7,55 , Fosfor (P) 4,33 %, Kalium (K) 0,99 %, Kalsium (Ca) 41,94 meq/100g, Magnesium (Mg) 39,71

meq/100g (Raihandy, 2023). Sementara itu, ATB menurut Fahrumsyah et al. (2018) mengandung pH sebesar 9,8. mengandung pH sebesar 9,8 ; C-Organik sebesar 0,82%; N total sebesar 0,05%; P total sebesar 1,378 ppm; P-tersedia sebesar 5,73 ppm; kalium total sebesar 719,35 ppm; kation dapat tukar untuk Ca, Mg, K, Na, dan H masing-masing sebesar 28,45; 3,25; 0,25; 0,26; dan 0,08 cmol kg⁻¹; kapasitas tukar kation (KTK) sebesar 17,37 cmol kg⁻¹; dan kejenuhan basa sebesar 99,75%.

Tanaman pepaya (*Carica papaya L.*) merupakan salah satu tanaman hortikultura dengan nilai ekonomi tinggi. Pepaya sebagai buah segar relatif disukai oleh semua kalangan masyarakat karena cita rasanya yang enak, kaya akan vitamin A, B, dan C yang sangat dibutuhkan oleh tubuh manusia, serta harganya relatif murah. Kegunaan pepaya cukup beragam, hampir semua bagian tanaman dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan. Bunga dan daun muda dapat digunakan sebagai sayur, sedangkan buahnya dimanfaatkan dalam berbagai jenis makanan dan minuman yang dapat memenuhi kebutuhan gizi keluarga (Agustina, 2015). Produksi pepaya di Kalimantan Timur pada tahun 2023 mengalami peningkatan yang signifikan, yaitu sebanyak 29.442 ton dibandingkan dengan produksi pada tahun 2022 yang hanya mencapai 13.674 ton (BPS, 2023).

Berdasarkan uraian di atas, diharapkan pemberian KBW dan ATB dapat memaksimalkan pemanfaatan lahan Ultisol serta meningkatkan produksi tanaman pepaya. Pemaksimalan lahan tersebut dimaksudkan melalui penggunaan KBW dan ATB yang dapat menurunkan kemasaman tanah dan aluminium dapat tukar, serta meningkatkan ketersediaan P bagi tanaman pepaya.

B. Perumusan Masalah

1. Apakah aplikasi KBW dan ATB dapat memperbaiki sifat kimia tanah Ultisol, khususnya pH tanah, P-total, dan P-tersedia ?
2. Bagaimanakah pengaruh pemberian berbagai dosis KBW dan ATB terhadap serapan P oleh tanaman pepaya yang dibudidayakan pada tanah Ultisol?
3. Bagaimana pengaruh KBW dan ATB dalam meningkatkan efisiensi pemupukan pupuk P untuk tanaman pepaya pada Ultisol?
4. Apakah pemberian aplikasi KBW dan ATB dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman pepaya?

C. Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pengaruh pemberian KBW dan ATB dalam memperbaiki sifat kimia tanah Ultisol, khususnya pH tanah, kandungan P-total, dan ketersediaan P dalam tanah.
2. Memperoleh dosis terbaik KBW dan ATB terhadap serapan P oleh tanaman pepaya pada Ultisol.
3. Mengetahui pengaruh pemberian KBW dan ATB terhadap efisiensi pemupukan P pada tanaman pepaya yang dibudidayakan pada Ultisol.
4. Mengetahui pengaruh KBW dan ATB terhadap pertumbuhan tanaman pepaya pada Ultisol

D. Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah berupa informasi dan pemahaman yang lebih mendalam mengenai peran KBW dan ATB sebagai amelioran tanah yang dapat meningkatkan efisiensi pemupukan P pada Ultisol, serta memperbaiki sifat kimia Ultisol, khususnya pH tanah, P-total dan P tersedia

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Tanaman Pepaya (*Carica papaya L.*)

Pepaya merupakan tanaman buah berupa tanaman herba dari famili Caricaceae yang berasal dari Amerika Tengah dan Hindia Barat bahkan kawasan sekitar negara Meksiko dan Costa Rica (Mendrofa., 2023). Tanaman pepaya merupakan tanaman herba menahun dan tingginya bisa mencapai 8 m. Batang tak berkayu, bulat, berongga, bergetah, dan terdapat bekas pangkal daun. Daunnya merupakan daun tunggal dan berukuran besar, tangkai daun berukuran panjang dan berongga. Bunganya terdiri dari tiga jenis yaitu: bunga jantan, bunga betina, dan bunga sempurna. Bentuk buah berragam dari yang bentuknya bulat sampai lonjong. Dapat hidup pada ketinggian tempat 1-1.000 dari permukaan laut dan pada suhu udara 22°C-26°C (Kalie, 2007).

Menurut taksonominya tanaman pepaya dapat diklasifikasikan sebagai berikut: (Integrated Taxonomic Information System, 2024)

Kingdom	: Plantae
Subkingdom	: Viridiplantae
Infrakingdom	: Streptophyta
Superdivision	: Embryophyta
Division	: Tracheophyta
Subdivision	: Spermatophytina
Class	: Magnoliopsida
Superorder	: Rosanae
Order	: Brassicales
Family	: Caricaceae papayas
Genus	: Carica papaya
Spesies	: <i>Carica papaya L.</i>

Tanaman pepaya dengan sistem akar yang terdiri dari akar tunggang dan akar serabut berbentuk bulat dengan warna putih kekuningan. Memiliki akar serabut merupakan cabang dari akar tunggang yang tumbuh mendatar ke segala arah pada kedalaman 1meter atau lebih, menyebar sekitar 60-150 cm atau lebih dari pusat batang tanaman. Batang tanaman pepaya berfungsi menopang keseluruhan tubuh

tanaman dan juga memiliki fungsi sebagai penghubung semua bagian tanaman. Batang tanaman pepaya mengandung getah, berbentuk bulat, dan tumbuh tegak lurus ke atas. Berongga pada tengah 10 batang, batang basah atau tidak berkayu dan memiliki tinggi kurang lebih mencapai 10 meter. Terdapat ruas-ruas pada bagian luar batang tempat melekatnya tangkai daun yang berbentuk bulat dan berongga.

Tanaman pepaya memiliki daun tunggal yang berukuran besar. Daun pepaya memiliki komponen daun lengkap (falicum completum), termasuk pelepah atau upih daun (vagina), tangkai daun (petiolus), dan helaian daun (lamina). Daun pepaya memiliki bentuk bulat (orbicularis), ujung daun yang meruncing, bergerigi, dantangkai daun panjang dan berongga. Termasuk bertulang daun menjari (palminervis) (Mendrofa, 2023).

Tanaman pepaya dapat ditanam di dataran rendah hingga dataran tinggi pada ketinggian 700 m diatas permukaan laut, tetapi pertumbuhan yang optimal bisa diperoleh pada ketinggian 200-500 m diatas permukaan laut. Tanaman ini dapat tumbuh di berbagai jenis tanah, akan tetapi tanah yang subur, gembur, pengelolaan drainase yang baik, karena bila saja tanaman pepaya tergenang air maka dapat mempengaruhi pertumbuhan dan kemasaman tanah sekitar netral (6-7) merupakan kondisi tanah yang baik bagi tanaman pepaya. Bila kondisi pH dibawah 5,0 akan menyebabkan pertumbuhan bibit terhambat. Tanaman pepaya tumbuh optimal pada daerah ilkim tropis dengan sinar matahari penuh tanpa naungan. Suhu optimal yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tananam pepaya antara 22-26 C. Curah hujan tahunan yang diperlukan untuk tanaman pepaya yaitu antara 1000-1500 mm/tahun (Ilahude, 2015).

Tanaman pepaya termasuk tanaman yang sensitif terhadap kekurangan dan kelebihan air. Kelebihan air akibat genangan dapat menyebabkan akar menjadi busuk dan mudah terserang penyakit akar sehingga tanaman menjadi layu dan mati. Sementara itu, kekurangan air juga bisa membuat tanaman pepaya tidak bisa tumbuh dengan baik. Di daerah yang beriklim kering, yaitu yang mengalami musim hujan 2-5 bulan dan musim kemarau 6-8 bulan, tanaman pepaya masih mampu berbuah, tetapi memerlukan kedalaman air tanah 50-150 cm (Sujiprihati, 2014).

B. Tanah Ultisol

Ultisol menurut merupakan salah satu tanah marginal yang mendominasi lahan kering di Indonesia, yang tersebar di Sumatra, Kalimantan, Sulawesi dan Irian Jaya. Luas Ultisol di Indonesia mencapai 45,8 juta ha atau 24,3% luas lahan Indonesia (Yulfatmawawita et al., 2008). Sebaran terluas terdapat di Kalimantan (21.938.000 ha), diikuti di Sumatera (9.469.000 ha), Maluku dan Papua (8.859.000 ha), Sulawesi (4.303.000 ha), Jawa (1.172.000 ha), dan Nusa Tenggara (53.000 ha). Tanah ini dapat dijumpai pada berbagai relief, mulai dari datar hingga bergunung (Prasetyo & Suriadikarta, 2006).

Ultisol dapat berkembang dari berbagai bahan induk, dari bahan induk yang bersifat masam maupun basa. Namun sebagian besar bahan induk tanah ini adalah batuan induk masam.

Tabel 1. Luas berdasarkan batuan pembentuk tanah (ha)

Jenis Ultisol pada tingkat grup	Sedimen	Metamorf	Volkan	Plutonik	Jumlah
Hapludults	24.703.460	185,58	2.231.520	4.770.480	31.891.040
Kandiudults	3.816.600		5.020.100		8.836.700
Palehumults	3.138.120				3.138.120
Plintudults	1.864.000				1.864.000
Paleudults	1.420.520				1.420.520

Sumber : Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat (2000)

Ultisol mempunyai tingkat perkembangan yang cukup lanjut, dimana ultisol memiliki ciri-ciri yang data ditunjukkan oleh penampang tanah yang dalam, kenaikan fraksi liat seiring dengan kedalaman tanah, reaksi tanah masam, dan kejenuhan basa rendah. Pada umumnya menurut Adiningsih tanah ini mempunyai potensi keracunan Al dan miskin kandungan dari bahan-bahan organik. Tanah ini juga miskin kandungan hara terutama P dan kation-kation dapat ditukar seperti Ca, Mg, Na, dan K, kadar Al tinggi, dan kapasitas tukar kation rendah, serta peka terhadap erosi (Prasetyo & Suriadikarta, 2006). Ultisol secara umum memiliki ciri dengan warna kuning kecoklatan hingga berwarna kemerahan. Pada klasifikasi yang lama Ultisol diklasifikasikan sebagai Podsolik Merah Kuning (PMK). Warna

tanah pada horizon argilik sangat banyak variasi dengan hue dari 10YR hingga 10R, memiliki nilai 3–6 dan memiliki kroma 4–8 (Prasetyo et al., 2005).

Warna tanah menurut Allen dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain bahan organik yang menyebabkan warna gelap atau hitam, kandungan mineral primer fraksi ringan seperti kuarsa dan plagioklas yang memberikan warna putih keabuan, serta oksida besi seperti goethit dan hematit yang memberikan warna kecoklatan hingga merah. Semakin coklat warna tanah umumnya akan semakin tinggi kandungan goethit, dan semakin merah warna tanah maka semakin tinggi kandungan hematit (Prasetyo & Suriadikarta, 2006).

Klasifikasi dari morfologi penting yang terkandung dalam Ultisol adalah adanya peningkatan fraksi liat dalam jumlah-jumlah tertentu pada horizon seperti yang disyaratkan dalam Soil Taxonomy. Horizon tanah dengan peningkatan liat tersebut dikenal sebagai horizon argilik. Horizon argilik tersebut dapat dikenali dari fraksi liat pada hasil analisis di laboratorium maupun dari penampang profil tanah. Horizon argilik umumnya kaya akan Al sehingga peka terhadap perkembangan akar tanaman, yang menyebabkan akar tanaman tidak dapat menembus horizon ini dan hanya berkembang di atas horizon argilik (Prasetyo & Suriadikarta, 2006).

Ultisol pada umumnya mempunyai nilai kejenuhan basa <35%, karena batas ini merupakan salah satu syarat untuk klasifikasi Ultisol menurut Soil Taxonomy. Beberapa jenis Ultisol mempunyai kapasitas tukar kation <16 cmol/kg liat, yaitu Ultisol yang mempunyai horizon kandik. Reaksi Ultisol pada umumnya tergolong masam hingga sangat masam (dengan pH 5–3,10), kecuali Ultisol dari batu gamping yang mempunyai reaksi netral hingga agak masam (dengan pH 6,80–6,50). Kapasitas tukar kation pada Ultisol dari granit, sedimen, dan tufa tergolong rendah masing-masing berkisar antara 2,90–7,50 cmol kg⁻¹, 6,11–13,68 cmol kg⁻¹, dan 6,10–6,80 cmol kg⁻¹, sedangkan yang dari bahan vulkan andesitik dan batu gamping tergolong tinggi (>17 cmol.kg⁻¹). Hasil penelitian menunjukkan bahwa beberapa Ultisol dari bahan vulkan, tufa berkapur, dan batu gamping mempunyai kapasitas tukar kation yang tinggi (Prasetyo & Suriadikarta, 2006).

Nilai kejenuhan Al yang tinggi terdapat pada Ultisol dari bahan sedimen dan granit (>60%), kemudian nilai yang rendah pada Ultisol dari bahan vulkan andesitik dan gamping (0%). Ultisol dari bahan tufa mempunyai kejenuhan Al yang

tergolong rendah pada lapisan atas (5–8%), tetapi tinggi yang berada pada lapisan bawah (37–78%). Tampaknya kejenuhan Al pada Ultisol dapat dikatakan berhubungan erat dengan pH tanah (Prasetyo & Suriadikarta, 2006).

Kandungan hara pada Ultisol umumnya rendah karena pencucian basa berlangsung intensif, sedangkan kandungan bahan organik rendah karena proses dekomposisi berjalan cepat dan sebagian terbawa erosi. Pada tanah Ultisol yang mempunyai horizon kandik, kesuburan alaminya hanya bergantung pada bahan organik di lapisan atas. Dominasi kaolinit pada tanah ini tidak memberi kontribusi pada kapasitas tukar kation tanah, sehingga kapasitas tukar kation hanya bergantung pada kandungan bahan organik dan fraksi liat. Oleh karena itu, peningkatan produktivitas Ultisol dapat dilakukan melalui perbaikan tanah, pemupukan, dan pemberian bahan organik (Prasetyo & Suriadikarta, 2006).

Masalah Al umumnya terjadi pada Ultisol dari bahan sedimen. Bahan sedimen merupakan hasil dari proses pelapukan (weathering) dan pencucian (leaching), baik pelapukan dari bahan vulkan, batuan beku, batuan metamorf maupun campuran dari berbagai jenis batuan sehingga mineral penyusunnya sangat bergantung pada asal bahan yang melapuk. Oleh karena itu, Ultisol dari bahan sedimen sudah mengalami dua kali pelapukan, pelapukan yang pertama pada waktu pembentukan batuan sedimen dan pelapukan yang kedua pada waktu pembentukan tanah. Dengan demikian ada kemungkinan bahwa kandungan Al pada batuan sedimen sudah sangat tinggi. Kondisi ini akan berbeda bila Ultisol terbentuk dari bahan vulkan dan batuan beku. Pada tanah tersebut Al hanya berasal dari pelapukan batuan bahan induknya. Kondisi ini juga masih dipengaruhi oleh pH. Pada bahan induk yang bersifat basa, pelepasan Al tidak sebanyak pada batuan masam, karena pH tanah yang tinggi dapat mengurangi kelarutan hidroksida Al (Prasetyo & Suriadikarta, 2006).

Ultisol dari bahan sedimen mempunyai kesuburan alami yang lebih rendah daripada Ultisol dari bahan vulkan atau batu kapur, karena bahan-bahan sedimen sudah termasuk ke dalam hasil perombakan bahan lain sehingga kandungan unsur haranya pun tergolong rendah. Ultisol dari Kalimantan Selatan dan Kalimantan Timur yang berkembang dari batuan sedimen batu pasir dan batu liat mempunyai nilai kapasitas tukar kation tanah 3–18 cmol kg⁻¹, kejenuhan basa 3–9%, kejenuhan

Al 33–95%, dan pH 3,70–5. Sementara itu Ultisol dari bahan volkan mempunyai nilai kapasitas tukar kation 13,80–25,49 cmol kg⁻¹ tanah, kejenuhan basa 4-35%, kandungan Al 0-16%, dan pH tanah 4,60-5,70 (Prasetyo et al., 2005).

C. Kotoran Burung Walet (KBW)

Burung laut / walet merupakan makhluk hidup pemakan serangga atau biji-bijian. Menurut proses pengeluaran kotoran dan urin dari hewan tersebut di sekitar sarangnya, kemudian kotoran tersebut dimakan kembali oleh kumbang atau mikroba lainnya hingga terbentuk pupuk organik. Kandungan mineral yang terkandung dalam kotoran tersebut diantaranya adalah N, P, K, Ca, Mg, dan S dengan jumlah yang bervariasi (Kapsah, 2018).

Kotoran burung walet merupakan jenis bahan-bahan organik yang dapat memberikan unsur hara pada tanah. Pupuk organik merupakan bahan yang memiliki kandungan unsur hara yang seimbang (unsur hara makro atau mikro) yang berasal dari bahan alami yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman. Selain bermanfaat terhadap perbaikan sifat fisik tanah, pupuk organik juga dapat meningkatkan kualitas sifat kimia dan biologi tanah seperti meningkatnya ketersediaan kandungan unsur hara dan aktivitas mikroorganisme tanah (Nazari, 2012).

Kotoran burung walet selama ini seringkali dianggap limbah dan belum dimanfaatkan oleh para peternak. Pupuk KBW sangat kaya akan unsur N, P, K dibanding dengan pupuk kotoran unggas lainnya seperti ayam, bebek, dan angsa. Pupuk KBW dapat menjadi pengganti pupuk kimia, karena tidak berbau dan bermanfaat untuk pertumbuhan tanaman dengan kandungan unsur hara yang dimiliki pupuk kotoran walet serta dapat mengurangi toksisitas unsur kimia tanah (Kapsah, 2018). Kotoran burung walet (KBW) ini memiliki hara lengkap dan kandungan yang cukup baik seperti C-Organik 36,17 %, Nitrogen (N) 7,55 %, dan C/N Rasio 4,79 dengan pH 7,55 , Fosfor (P) 4,33 %, Kalium (K) 0.99 %, Kalsium (Ca) 41,94 meq/100g, Magnesium (Mg) 39,71 meq/100g (Raihandy, 2023).

Kotoran burung walet merupakan salah satu pupuk organik yang mampu melepaskan unsur hara secara perlahan dan berkesinambungan serta memiliki

ketersediaan yang cukup setiap dibutuhkan pada waktu-waktu tertentu walaupun dalam jumlah sedikit (Lestari, 2011).

Pemberian bokasi KBW dengan dosis 200 g polybag⁻¹ menghasilkan pH tertinggi yaitu 5,31 sedangkan kontrol menghasilkan pH terendah yaitu 5,12 (Alfionita et al., 2018). Pemberian bahan organik menunjukkan peningkatan nilai pH tanah, karena bahan organik memiliki kemampuan mengkhelat logam Al^{3+} sehingga tidak terjadi reaksi hidrolisis Al^{3+} , dimana dari reaksi hidrolisis Al^{3+} dihasilkan 3 ion H^+ yang dapat mengasamkan tanah (Mukhlis & Fauzi, 2003)

Pemberian bokashi KBW dosis 200 g polybag⁻¹ menghasilkan P tertinggi dengan nilai 176,82 dan P terendah ditunjukkan pada kontrol yang tidak diberi bokashi KBW dengan nilai 42,46. Peningkatan P tanah setelah diberikan bahan organik karena proses dekomposisi bahan organik menghasilkan asam-asam organik yang dapat membantu melepaskan P yang diikat oleh fraksi amorf sehingga konsentrasi P tanah meningkat (Alfionita et al., 2018).

D. Abu Terbang Batubara (ATB)

Abu terbang batubara merupakan material kompleks yang memiliki kandungan mineral amorfus dan kristalin dan umumnya adalah mineral ferroaluminosilikat yang menyerupai aluminosilikat lainnya seperti liat (clay). Abu terbang batubara umumnya bersifat basa dan memiliki karakteristik kimia yang cukup potensial untuk meningkatkan pH pada tanah masam (Mittra et al., 2003).

Abu terbang batubara memiliki kandungan memiliki seluruh unsur hara esensial yang dibutuhkan pada tanaman kecuali unsur hara N. Abu terbang batubara memiliki kandungan unsur hara makro esensial dan mikro esensial. Abu terbang batubara yang memiliki kandungan unsur hara makro esensial diantaranya adalah P, K, Ca, Mg dan S serta abu terbang batubara yang memiliki unsur hara mikro esensial diantaranya adalah Fe, Mn, Zn, Cu, Co, B, Pb, Cd, dan Mo (Pandey & Singh, 2010). Hasil analisis kandungan hara ATB dari penelitian Fahrumsyah et al., 2018, yaitu pH sebesar 9,8 ; C-Organik sebesar 0,82%; N total sebesar 0,05%; P total sebesar 1,378 ppm; P-tersedia sebesar 5,73 ppm; kalium total sebesar 719,35 ppm; kation dapat tukar untuk Ca, Mg, K, Na, dan H masing-masing sebesar 28,45;

3,25; 0,25; 0,26; dan 0,08 cmol kg⁻¹; kapasitas tukar kation (KTK) sebesar 17,37 cmol kg⁻¹; dan kejenuhan basa sebesar 99,75%.

Menurut Kishor secara kimia, 90-99% ATB tersusun oleh unsur Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, dan K dengan Si dan Al sebagai penyusun utama. Kalsium ditemukan sebagai kation dominan pada ATB yang diikuti oleh Mg, Na, dan K. Pada umumnya Al terikat pada suatu struktur aluminosilikat larut, sehingga toksisitas biologisnya menjadi cukup terbatas (Fahrunsyah, 2019). Jika dilihat secara ilustrasi, komposisi beberapa oksida yang terkandung pada ATB adalah sebagai berikut: SiO₂ sebesar 54,59%; Al₂O₃ sebesar 1,69%; MgO sebesar 4,38%; CaO sebesar 4,27%; dan Fe₂O₃ sebesar 3,19% (Jumaeri et al 2007).

Abu terbang batubara dapat digunakan untuk meningkatkan pH tanah masam seperti Ultisol dengan menggunakan ATB yang bersifat basa. Abu terbang batubara dan kotoran ayam mempunyai karakteristik yang dapat menurunkan jerapan P dan meningkatkan P-tersedia pada tanah. Komposisi campuran kotoran ayam memberikan nilai jerapan P terendah dan meningkatkan P-tersedia ialah 50% ATB + 50% kotoran ayam (Hermawan et al., 2013). Lebih lanjut penelitian menggunakan campuran ATB dan kotoran ayam dapat digunakan sebagai amelioran untuk menurunkan jerapan P tanah dan meningkatkan ketersediaan P pada Ultisol melalui peningkatan pH dan muatan negatif pada tanah (Hermawan et al., 2014).

Kombinasi ATB dan kompos TKKS dapat meningkatkan pH, P-tersedia, P-total dan C-organik dan juga dapat menurunkan Al dan H yang dapat ditukar pada tanah Ultisol dari Kalimantan Timur. Kombinasi ATB dan TKKS menghasilkan pH yang lebih tinggi dan penurunan Al dan H dibandingkan dengan aplikasi ATB saja atau aplikasi kompos tandan kosong kelapa sawit sendirian. Pengaplikasian ATB 80 ton.ha⁻¹ dan kompos TKKS 20 ton.ha⁻¹ menghasilkan peningkatan pH terbaik 24% dan sebaliknya menurunkan Al dan H yang dapat ditukar sebesar masing-masing 90% dan 53% dibandingkan dengan tanah awal. Penerapan ATB 80 ton.ha⁻¹ dan kompos TKKS 20 ton ha⁻¹ menghasilkan total P tertinggi (74,99 ppm) peningkatan 101% dibandingkan dengan total tanah awal P dan P tertinggi yang

tersedia (24,14 ppm) atau 542% meningkat dibandingkan dengan tanah awal P-tersedia (Fahrunsyah et al., 2018).

E. Fosfor

Fosfor (P) salah satu hara yang paling berperan dalam membatasi hasil panen, terutama pada tanah-tanah yang memiliki pelapukan lanjut (Nopriani et al., 2021). P merupakan unsur hara yang penting untuk pertumbuhan dan reproduksi tanaman. Tanaman lebih suka menyerap P sebagai ortofosfat (Pi), sebuah ion yang memiliki kelarutan rendah dan mudah terikat di dalam tanah (Paz-Ares et al., 2022). Meskipun tanah mengandung P-total dalam jumlah besar, hanya sebagian kecil saja yang tersedia bagi tanaman.

Penggunaan pupuk P secara terus-menerus berpotensi mengakibatkan akumulasi P-total, sehingga tidak tersedia oleh tanaman. Efisiensi penggunaan pupuk P yang berbeda-beda dalam sistem pertanian bergantung pada kapasitas pupuk tersebut dalam menyuplai P dalam bentuk terlarut yang tersedia untuk diserap tanaman yaitu dalam bentuk anion ortofosfat.

Selain sumber pupuk, ketersediaan P dalam tanah sangat dipengaruhi oleh sifat fisikokimia dan biologi tanah serta karakteristik akar (misalnya laju pertumbuhan, panjang spesifik akar, kepadatan, dan panjang rambut akar), serta proses biokimia yang terjadi pada antarmuka tanah-akar. Kemampuan akar untuk mengeksplorasi tanah secara efektif, pelepasan eksudat (misalnya anion organik dan enzim fosfatase) dari akar yang mempengaruhi ketersediaan P tanah, dan hubungan akar dengan mikroorganisme tanah seperti jamur mikoriza sangatlah penting (Richardson et al., 2009).

F. Efisiensi Pemupukan Fosfor

Penggunaan pupuk dengan takaran tinggi tetapi tidak diikuti dengan efisiensi serapan yang tinggi berakibat pemborosan dan penimbunan unsur hara di dalam tanah. Ironisnya efisiensi serapan pupuk buatan pada umumnya rendah, yang berarti bahwa dari sejumlah pupuk yang ditambahkan hanya sebagian kecil saja yang diserap tanaman, yakni untuk pupuk N efisiensinya berkisar 29-45% dan P hanya

10-30%. Peningkatan serapan P berkontribusi terhadap peningkatan biomasa, aktivitas fotosintesis, dan alokasi fotosintat ke organ reproduktif, sehingga berdampak langsung pada peningkatan hasil tanaman (Marschner, 1990; Robert, 2008; Syers et al., 2008; Johnston & Syers, 2009).

Efisiensi serapan P yang rendah mengakibatkan penimbunan P dalam tanah. P dari pupuk yang tidak terserap tanaman akan diikat oleh unsur-unsur pengikat P, seperti Fe dan Al untuk tanah asam dan Ca untuk tanah basa, membentuk senyawa yang tidak larut. Untuk menghindari penimbunan residu pupuk P yang berlebihan, maka perlu upaya-upaya meningkatkan efisiensi serapan P. Salah satu upaya tersebut adalah dengan memperbaiki teknik pemupukan P, yakni dengan menggunakan pupuk P cepat larut yang diaplikasikan secara bertahap (Cahyono, 2022). Karena P mudah difiksasi maka pemberian pupuk P sebaiknya jangan disebarakan tetapi diberikan dalam bentuk larikan agar kontak dengan tanah sedikit mungkin sehingga fiksasi dapat dikurangi.

Gejala kekurangan P dapat dilihat dari pertumbuhan terhambat atau kerdil, karena pembelahan sel terganggu, daun-daun menjadi ungu atau coklat mulu dari ujung daun, terlihat jelas pada tanaman yang masih muda (Nopriani et al., 2021). Efisiensi pupuk merupakan rasio antara jumlah hara yang diserap tanaman dengan jumlah hara yang diaplikasikan lewat pupuk.

Efisiensi pupuk yang tinggi digambarkan dengan semakin banyaknya hara yang dapat diserap tanaman. Tingkat efektivitas dan efisiensi pupuk berhubungan dengan banyaknya hara yang diserap tanaman dari sejumlah hara yang diberikan kepada tanaman lewat pupuk. (Ginting et al, 2018).

Menurut beberapa sumber, Perhitungan efisiensi dapat dihitung dalam beberapa pendekatan, yaitu Efisiensi serapan, efisiensi fisiologis, dan efisiensi agronomis. Efisiensi serapan merupakan perbandingan antara hara yang diserap dari pupuk dengan jumlah pupuk yang diberikan dinyatakan dalam satuan persen. Angka efisiensi serapan berguna sebagai faktor koreksi dalam rekomendasi pemupukan. Efisiensi fisiologis berguna untuk menilai respon tanaman dalam mengoptimalkan hara yang berasal dari pupuk untuk menghasilkan produk.

Sedangkan efisiensi agronomis berguna untuk menilai seberapa besar peningkatan produksi yang dicapai dari tiap jumlah pupuk yang ditambahkan (Dobermann, 2007). Efisiensi serapan merupakan nisbah antara hara yang dapat diserap tanaman dengan hara yang diberikan. Makin banyak hara yang dapat diserap dari pupuk yang diberikan tersebut, maka nilai efisiensi penyerapan semakin besar. Endrizal (2004).

Angka efisiensi serapan ini sangat penting dalam memberikan rekomendasi pemupukan yang lebih akurat dan efisien. Di sisi lain, efisiensi fisiologis menggambarkan kemampuan tanaman untuk memanfaatkan hara yang diserap guna menghasilkan produk, memberikan gambaran tentang seberapa efektif pupuk tersebut mendukung pertumbuhan tanaman. Sedangkan efisiensi agronomis berfokus pada peningkatan hasil produksi tanaman per unit pupuk yang diterapkan. Menurut Dobermann (2007), ketiga pendekatan ini dapat digunakan untuk mengoptimalkan pemupukan. Efisiensi serapan, yang diukur melalui perbandingan antara hara yang diserap dengan hara yang diberikan, akan lebih tinggi apabila tanaman mampu menyerap pupuk dengan maksimal (Endrizal, 2004).

Nilai efisiensi pemupukan P dihitung dengan menggunakan 3 (Tiga) indeks agronomi yaitu Efisiensi penyerapan P atau Recovery Efficiency (RE), Efisiensi Fisiologis atau Physiologis efficiency (PE), dan Efisiensi Agronomis atau agronomic efficiency (AE) (Fahrunsyah dkk, 2021). Adapun rumusnya sebagai berikut :

1. Efisiensi penyerapan P atau Recovery Efficiency (RE)

$$RE = \frac{Rf - Rc}{F\ add} \times 100 \%$$

Keterangan

Rf : Serapan Hara Tanaman di pupuk P

Rc : Serapan hara Tanaman yang tidak di pupuk P

F add : Dosis Hara P yang ditambahkan dari pupuk P

2. Efisiensi Fisiologis atau Physiologis efficiency (PE)

$$PE = \frac{Yb - Ybc}{Rf - Rc} \times 100 \%$$

Keterangan

Yb : Berat kering Berangkasan yang di pupuk P

Ybc : Berat Kering Berangkasan yang tidak di pupuk P

Rf : Serapan Hara Tanaman di pupuk P

Rc : Serapan hara yang tidak di pupuk P

3. Efisiensi Agronomis atau agronomic efficiency (AE)

$$AE = \frac{Yf - Yc}{F \text{ add}} \times 100 \%$$

Keterangan

Yf : Berat kering buah yang di Pupuk P

Yc : Berat Kering buah yang tidak di pupuk P

F add : Dosis hara P yang ditambahkan dari pupuk P

Untuk melihat korelasi antar pengamatan, pH dan P-tersedia, P-Total dan P-tersedia, P-tersedia dan Serapan P pada tanaman di lakukan analisis korelasi pearson. Nilai koefisien korelasi Pearson (r) berada pada rentang -1 hingga +1. Nilai r positif ($r > 0$) menunjukkan adanya hubungan searah antara dua variabel, di mana peningkatan pada satu variabel diikuti oleh peningkatan pada variabel lainnya. Sebaliknya, nilai r negatif ($r < 0$) menunjukkan hubungan berlawanan arah, yaitu peningkatan pada satu variabel diikuti oleh penurunan pada variabel lainnya. Sementara itu, nilai r sama dengan nol ($r = 0$) mengindikasikan tidak adanya hubungan linier antara kedua variabel yang dianalisis, adapun rumus yang digunakan sebagai berikut.

$$r = \frac{n\sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[n\sum X^2 - (\sum X)^2][n\sum Y^2 - (\sum Y)^2]}}$$

III. KERANGKA PEMIKIRAN DAN HIPOTESIS

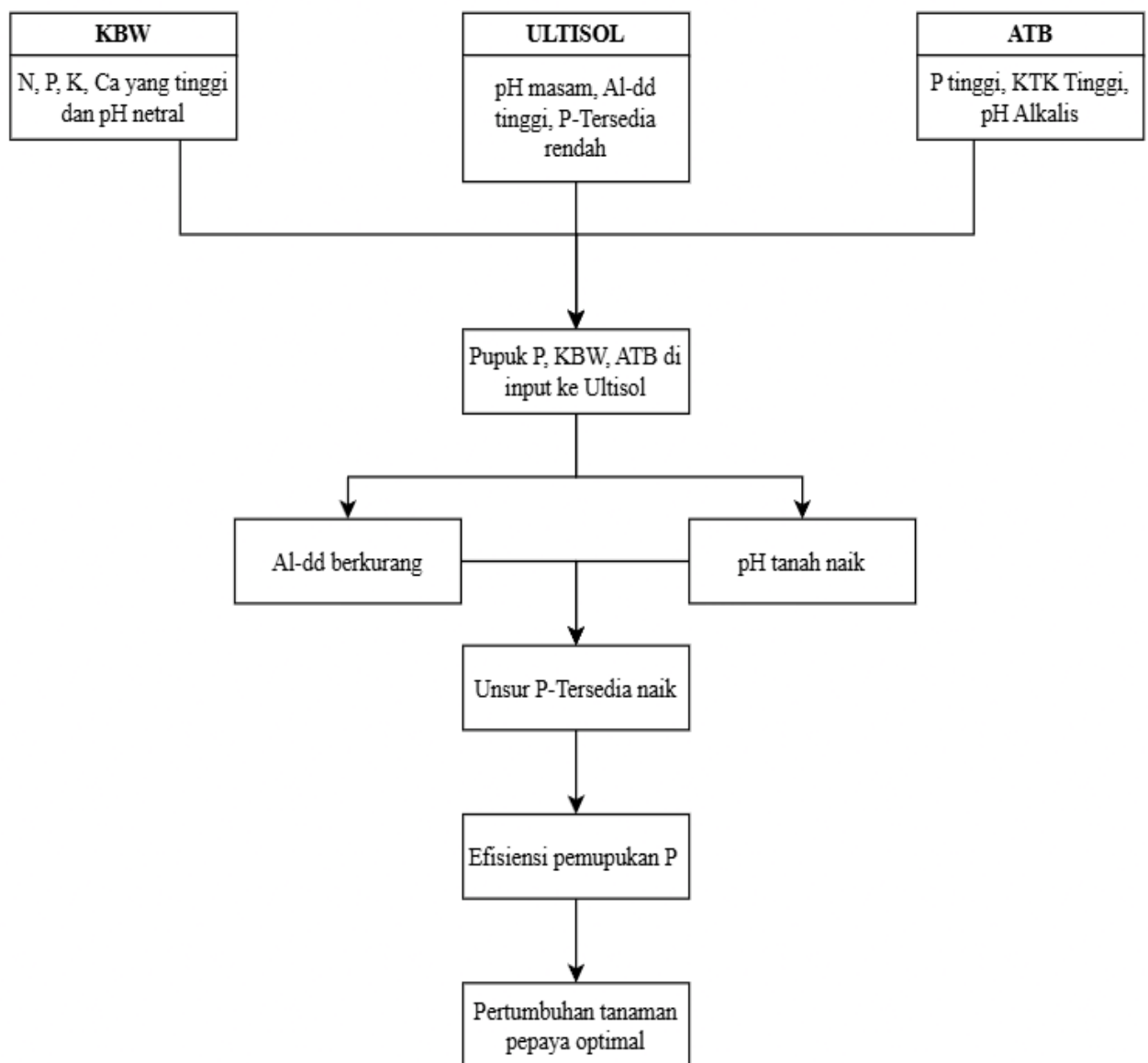
A. Kerangka pemikiran

Tanah yang mendominasi Kalimantan Timur ialah tanah ber ordo Ultisol yang memiliki tingkat kesuburan rendah, terutama pada sifat kimianya. Hal tersebut juga dikarenakan faktor iklim tropika basah pada wilayah tersebut yang mengakibatkan pencucian hara (leaching) sehingga hara tanah rendah, ketersediaan bahan organik rendah dan meninggalkan Al dan Fe pada tanah. Tanah Ultisol ini memiliki kendala kandungan P yang terjerap sehingga tidak tersedia. Banyak faktor yang mempengaruhi kandungan P terjerap, salah satu faktornya ialah pH tanah yang masam dan Al-dd pada tanah.

Penelitian ini menggunakan KBW dan ATB yang di aplikasikan pada Ultisol dengan tanaman uji Pepaya. Kandungan KBW yaitu C-Organik 36,17 %, Nitrogen (N) 7,55 %, dan C/N Rasio 4,79 dengan pH 7,55 , Fosfor (P) 4,33 %, Kalium (K) 0.99 %, Kalsium (Ca) 41,94 meq/100g, Magnesium (Mg) 39,71 meq/100g (Raihandy, 2023). Sedangkan ATB mengandung pH sebesar 9,8 ; C-Organik sebesar 0,82%; N total sebesar 0,05%; P total sebesar 1,378 ppm; P-tersedia sebesar 5,73 ppm; Kalium total sebesar 719,35 ppm; kation dapat tukar untuk Ca, Mg, K, Na, dan H masing-masing sebesar 28,45; 3,25; 0,25; 0,26; dan 0,08 cmol kg⁻¹; kapasitas tukar kation (KTK) sebesar 17,37 cmol kg⁻¹; dan kejenuhan basa sebesar 99,75% (Fahrunsyah et al., 2018), oleh karena itu diharapkan pemberian KBW dan ATB sebagai amelioran Ultisol. Perlakuan ini dimaksud dapat menaikkan pH sehingga P dapat tersedia pada Utisol maka hal ini dapat memenuhi kebutuhan Fosfor untuk tanaman uji pepaya.

B. Hipotesis

1. Perlakuan KBW dan ATB dapat memperbaiki sifat kimia tanah terutama P-Total, P-Tersedia, dan pH tanah Ultisol.
2. Mendapat dosis terbaik KBW dan ATB terhadap serapan P .
3. Perlakuan KBW dan ATB dapat mengefisiensi pemupukan P.
4. Perlakuan KBW dan ATB dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman papaya pada Ultisol



Gambar 1. Kerangka Pikir Penelitian

IV. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat

Penelitian ini akan dilaksanakan selama 5 (lima) bulan dan bertempat Green House sedangkan untuk analisis tanah juga jaringan tanaman di Laboratorium Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Mulawarman.

B. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini ialah Ultisol dengan kedalaman 0-20 cm, KBW, ATB, benih pepaya, pupuk dasar Urea dan KCl.

Alat yang digunakan ember/pot, cangkul, sekop, penggaris, pengayak tanah, alat tulis, polybag kecil persemaian, timbangan digital dan analitik, jangka sorong, meteran kain, dan perangkat untuk analisis unsur hara pH, P tanah.

C. Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan dalam penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 16 perlakuan dan 3 kali ulangan sehingga didapatkan 48 satuan percobaan (pot), yaitu :

1. K0 = kontrol
2. K1 = 30 kg ha⁻¹ P
3. K2 = 60 kg ha⁻¹ P
4. K3 = 90 kg ha⁻¹ P
5. K4 = 30 ton ha⁻¹ KBW + 0 kg ha⁻¹ P
6. K5 = 30 ton ha⁻¹ KBW + 30 kg ha⁻¹ P
7. K6 = 30 ton ha⁻¹ KBW + 60 kg ha⁻¹ P
8. K7 = 30 ton ha⁻¹ KBW + 90 kg ha⁻¹ P
9. K8 = 30 ton ha⁻¹ ATB + 0 kg ha⁻¹ P
10. K9 = 30 ton ha⁻¹ ATB + 30 kg ha⁻¹ P
11. K10 = 30 ton ha⁻¹ ATB + 60 kg ha⁻¹ P
12. K11 = 30 ton ha⁻¹ ATB + 90 kg ha⁻¹ P
13. K12 = 30 ton ha⁻¹ KBW + 30 ton ha⁻¹ ATB + 0 kg ha⁻¹ P
14. K13 = 30 ton ha⁻¹ KBW + 30 ton ha⁻¹ ATB + 30 kg ha⁻¹ P
15. K14 = 30 ton ha⁻¹ KBW + 30 ton ha⁻¹ ATB + 60 kg ha⁻¹ P

$$16. K15 = 30 \text{ ton ha}^{-1} \text{ KBW} + 30 \text{ ton ha}^{-1} \text{ ATB} + 90 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}$$

D. Prosedur Penelitian

1. Analisis awal untuk mengetahui kandungan unsur kimia pada Ultisol, KBW dan ATB.
2. Ultisol, KBW, dan ATB yang digunakan sebagai media tanam dalam penelitian ini dikering anginkan, dibersihkan dan disaring dengan menggunakan ayakan lolos butir < 2 mm
3. Menyiapkan benih pepaya jenis California dan disemai pada polybag semai dengan media tanam yang disiapkan. Penyemaian dilakukan selama 4 minggu dan selama penyemaian akan dilakukan penyiraman maupun pengendalian gulma.
4. Persiapan media tanam dengan melakukan penimbangan Ultisol 10 kg/ pot.
5. Melakukan pemberian perlakuan dengan cara dikomposit per perlakuan tanah masing masing.
6. Setiap perlakuan di pot diinkubasi selama 15 hari. Selama masa inkubasi, kelembaban tanah dalam setiap pot dijaga pada 80% dari kapasitas lapang tanah dan menaruh nampan plastik dibawah pot agar jika ada air berlebih maka air tersebut dapat di beri kembali ke tanah.
7. Setelah masa inkubasi selama 15 hari, semua pot diberikan pupuk dasar yang terdiri Urea 100 kg/hektar dan KCl 100 kg/hektar. Kandungan air tanah dalam setiap pot disesuaikan kembali mendekati kapasitas lapang.
8. Memasukan bibit pepaya yang telah di semai kedalam pot perlakuan. Bibit yang digunakan berumur 4 minggu setelah semai dan memiliki ciri ciri sebanyak ± 5 helai daun dan tinggi 5 cm.
9. Perlakuan akan di maintenance meliputi pengendalian hama dan penyakit jika ada, pengendalian gulma dilakukan secara manual dengan dicabut dengan hati-hati agar tidak merusak perakaran tanaman maupun ditanamkan kembali didalam pot. Dilakukan penyulaman bibit dengan bibit cadangan, apabila bibit pengamatan mati. Penyiraman dilakukan hingga sekitar kapasitas lapang pada pagi dan sore hari jika diperlukan.

10. Pada minggu ke-2, ke-4, dan ke-6 setelah tanam, dilakukan pengamatan terhadap tinggi tanaman, jumlah daun, dan diameter batang tanaman pepaya.
11. Pada 8 MST, dilakukan pemanenan dan akan dilakukan pengamatan terhadap akar, batang dan daun papaya serta serapan fosfor (P) pada jaringan tanaman.

E. Analisis Kimia Tanah dan Jaringan Tanaman

Tabel. 2 Pengukuran analisis awal kima tanah

No	Parameter	Satuan	Metode Pengukuran
1	pH Tanah	-	H ₂ O
2	P Total	Mg 100g ⁻¹	Ekstrak HCl 25%
3	P Tersedia	ppm	Bray I

Tabel. 3 Pengukuran analisis akhir kima tanah dan jaringan tanaman

No	Parameter	Satuan	Metode Pengukuran
1	pH Tanah	-	H ₂ O
2	P Total	Mg 100g ⁻¹	Ekstrak HCl 25%
3	P Tersedia	ppm	Bray I
4	Serapan P tanaman	ppm	Destruksi basah

F. Metode Analisis

Metode analisis data dari hasil penelitian selanjutnya diolah dengan ANOVA (Analysis of Variance) atau analisis sidik ragam dengan derajat kepercayaan 95% dan dilanjutkan dengan Uji DMRT apabila hasil sidik ragam menunjukkan perbedaan nyata.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, L. R. (2015). Analisis usahatani pepaya varietas California. *Jurnal Agribisnis dan Pertanian Berkelanjutan Universitas Bojonegoro*, 1(2).
- Alfionita, R., Rachel, R. P., & Kesumaningwati, R. (2018). Pemberian Bokashi Kotoran Walet Terhadap Beberapa Sifat Kimia Tanah dan Pertumbuhan Serta Hasil Tanaman Cabai Merah (*Capsicum annum* L.). *Jurnal Agroekoteknologi Tropika Lembab*, 1(1), 43-52.
- Arsyad, S. (2010). *Konservasi Tanah dan Air*. IPB Press. Bogor
- Badan Pusat Statistik (BPS). (2023). Produksi tanaman buah-buahan 2021–2023. <https://bps.go.id>
- Cahyono, O. (2022). Perbaikan Metode Pemupukan pada Tanaman Kedelai di Tanah Alfisol. CV Sarno Untung.
- Dobermann, A. (2007). Nutrient use efficiency – measurement and management. Makalah disajikan pada *IFA International Workshop on Fertilizer Best Management Practices*, Brussels, Belgium, 7-9 Maret 2007.
- Endrizal dan Bobihoe, J. (2004). Efisiensi penggunaan pupuk nitrogen dengan penggunaan pupuk organik pada tanaman padi sawah. *Jurnal Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian*, 7(2), 118-124.
- Fageria, N. K., & Baligar, V. C. (2008). Ameliorating soil acidity of tropical Oxisols by liming for sustainable crop production. *Advances in Agronomy*, 99, 345–399.
- Fahrunsyah. (2019). *Peningkatan Ketersediaan Fosfor Pada Ultisol Dengan Menggunakan Abu Terbang Batubara dan Kompos Tandan Kelapa Sawit*. Disertasi. Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang.
- Fahrunsyah, Kusuma, Z., Prasetya, B., & Handayanto, E. (2018). Improvement of some chemical properties of an Ultisol of East Kalimantan through an application of combined coal fly ash and oil palm empty fruit bunch. *Bioscience Research*, 15(3), 1805-1814.
- Fahrunsyah, F., Mulyadi, M., Sarjono, A., & Darma, S. (2021). Peningkatan efisiensi pemupukan fosfor pada Ultisol dengan menggunakan abu terbang batubara. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 8(1), 189–202.
- Ginting, E. N., Rahutomo, S., & Sutarta, E. S. (2018). Efisiensi Serapan Hara Beberapa Jenis Pupuk pada Bibit Kelapa Sawit. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*, 26(2), 79–90

- Hardjowigeno, S. (2010). *Ilmu Tanah*. Jakarta: Akademika Pressindo.
- Hermawan, A., Sabaruddin, Marsi, R., Hayati, & Warsito. (2013). Status Jerapan dan Ketersediaan P Abu Terbang Batubara Akibat Penambahan Kotoran Ayam. *Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal*, Palembang.
- Hermawan, A., Sabaruddin, Marsi, R., Hayati, & Warsito. (2014). Perubahan Jerapan P pada Ultisol Akibat Pemberian Campuran Abu Terbang Batubara Kotoran Ayam. *Sains Tanah: Jurnal Ilmu Tanah dan Agroklimatologi*, 11(1), 1–10.
- Ilahude, Z. (2015). Pertumbuhan awal tanaman pepaya pada media bokashi organik padi dengan pemberian air kelapa. Universitas Negeri Gorontalo.
- Integrated Taxonomic Information System (IT IS). (2024). <https://www.itis.gov>.
- Jocelyne, R. E., Behiblo, K., & Ernest, A. K. (2020). Comparative Study of Nutritional Value of Wheat, Maize, Sorghum, Millet, and Fonio: Some Cereals Commonly Consumed in Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal*, 16(21), 1857-788.
- Johnston, A. E., & Syers, J. K. (2009). A new approach to assessing phosphorus use efficiency in agriculture. *Better Crops*, 93(3), 14–16.
- Jumaeri, Astuti, W., & Lestari, W. T. P. (2007). Preparasi dan Karakterisasi Zeolit dari Abu Layang Batubara Secara Alkali Hidrotermal. *Reaktor*, 11(1), 38-44.
- Kapsah. (2018). *Pengaruh Pemberian Guano Walet Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Sawi (Brassica juncea L.)*. Skripsi. Fakultas Pertanian, Universitas Borneo Tarakan.
- Kalie, M. B. (2005). Bertanam Pepaya. Edisi Revisi. Penebar Swadaya. Jakarta. 120 hal.
- Kochian, L. V., Piñeros, M. A., Liu, J., & Magalhaes, J. V. (2015). Plant adaptation to acid soils. *Annual Review of Plant Biology*, 66, 571–598.
- Lestari, M. (2011). *Pupuk Majemuk Organik Guano Walet*. Diakses pada 17 Desember 2026 dari <http://id528084201011.Indonetwork.co.id/2261825/pupuk-majemuk-organikguanowalet.htm>.
- Lopez-Bucio, J., de La Vega, O.M., Guevara-García, A. and Herrera-Estrella, L. 2000. Enhanced phosphorus uptake in transgenic tobacco plants that overproduce citrate. *Nature Biotechnology* 18(4) : 450 – 453.
- Marschner, H. (1990). Mineral nutrition of higher plants. Academic Press.

- Mendrofa, A. E. (2023). Evaluasi kesesuaian lahan untuk tanaman pepaya di Deli Serdang, Sumatera Utara. Skripsi.
- Mittra, B. N., Karmakar, S., Swain, D. K., & Ghosh, B. C. (2003). Fly Ash - a Potential Source of Soil Amendment and a Component of Integrated Plant Nutrient Supply System. *2003 International Ash Utilization Symposium*, University of Kentucky.
- Mukhlis & Fauzi. (2003). *Pergerakan Unsur Hara Nitrogen Dalam Tanah*. Medan: Ilmu Tanah FP-USU.
- Nazari, A. P. D. (2012). Tanggap Tanaman Selada (*Lactuca sativa* L.) Terhadap Pemberian Bokashi Kotoran Sapi dan Air Kelapa. *Jurnal Media Sains*, 2(1), 52-58.
- Nopriani, L. S., Soemarno, E., Hadiwijoyo, A. A., Hanuf, & Sholikah, D. H. (2021). Pengelolaan P tanah dan pemupukan fosfat. UB Press.
- Pandey, V. C., & Singh, N. (2010). Impact of Fly Ash Incorporation in Soil Systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 136, 16-27.
- Paz-Ares, J., Puga, M. I., Rojas-Triana, M., Martinez-Hevia, I., Diaz, S., Poza-Carrión, C., Miñambres, M., & Leyva, A. (2022). Plant adaptation to low phosphorus availability: Core signaling, crosstalks, and applied implications. *Molecular Plant*, 15(1), 104–124.
- Prasetyo, B. H., Subardja, B., & Kaslan, B. (2005). Ultisols Bahan Volkan Andesitic Diferensiasi Potensi Kesuburan dan Pengelolaannya. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 23, 1–12.
- Prasetyo, B. H., & Suriadikarta, D. A. (2006). Karakteristik, Potensi, Dan Teknologi Pengelolaan Tanah Ultisol untuk Pengembangan Pertanian Lahan Kering di Indonesia. *Jurnal Litbang Pertanian*, 25(2), 39.
- Raihandy, F. (2023). *Pemanfaatan Pupuk Kotoran Burung Walet dan Abu Terbang Batubara untuk Menurunkan Kemasaman Tanah dan Aluminium Dapat Tukar serta Meningkatkan Ketersediaan Fosfor pada Ultisol*. Skripsi. Jurusan Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Mulawarman, Samarinda.
- Richardson, A. E., Hocking, P. J., Simpson, R. J., & George, T. S. (2009). Plant mechanisms to optimise access to soil phosphorus. *Crop & Pasture Science*, 60(2), 124–143.
- Robert, T. L. (2008). Improving nutrient use efficiency. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 32, 177–182.

- Sage, R. F., Sage, T. L., & Kocacinar, F. (2014). Photorespiration and the evolution of C4 photosynthesis. *Annual Review of Plant Biology*, 65, 19–47.
- Sujiprihati, S., & Suketi, K. (2014). *Budidaya Pepaya Unggul*. Penebar Swadaya.
- Sutedjo, M. M. (2010). *Pupuk dan Cara Pemupukan*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Syers, J. K., Johnston, A. E., & Curtin, D. (2008). Efficiency of soil and fertilizer phosphorus use. FAO.
- Talino, H. 2013. Pengaruh Pupuk Kotoran Burung Walet Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Kacang Hijau pada Tanah Aluvial. *Jurnal Sains Mahasiswa Pertanian*. 2 (2).
- Yulfatmawita, Adrinal, & Febriani, A. D. (2008). Pengaruh Pemberian Beberapa Jenis Bahan Organik Terhadap Stabilitas Agregat Tanah Ultisol Limau Manis. *J. Solum*, 5(1), 7-13.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Jadwal Penelitian

Kegiatan	Waktu																			
	Bulan ke-1				Bulan ke-2				Bulan ke-3				Bulan ke-4				Bulan ke-5			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Persiapan Bahan dan Alat	√	√																		
Analisis awal tanah dan bahan		√	√																	
Penyemaian benih			√	√	√	√														
Pemberian perlakuan					√	√														
Inkubasi tanah					√	√														
Pemberian pupuk dasar							√													
Penanaman bibit							√	√	√	√	√	√	√	√						
Pengamatan pertumbuhan tanaman								√		√		√		√						
Pemanenan														√						
Analisis akhir tanah dan tanaman															√	√				
Penyusunan data dan tesis																√	√	√	√	√