

EFEK SINERGI BIOCHAR-KOMPOS PADA TANAMAN KEDELAI (*Glycine max L.*) DI SAWAH

SYNERGY EFFECT OF BIOCHAR-COMPOS ON SOYBEAN (*Glycine max L.*) IN RICE FIELD

Alicia Nursia, Wahyu Fikrinda dan Widowati*

Fakultas Pertanian, Universitas Tribhuwana Tunggaladewi, Malang, Indonesia

*Corresponding Author. E-mail address: widwidowati@gmail.com

PERKEMBANGAN ARTIKEL:

Diterima: 2 Agustus 2023
Direvisi: 11 November 2023
Disetujui: 12 Januari 2024

KEYWORDS:

N, P, K, organic waste compost, rice husk biochar, soil organic

ABSTRACT

Paddy field management without a rest period and without crop rotation causes a reduction in organic matter. Soil organic matter is a determinant of soil fertility so that the soil is able to supply nutrients for plants. Organic fertilizers and soil amendments (ameliorant) are combinations that can increase soil organic matter and provide nutrients. Biochar compost requires the right ratio in paddy soil which has long been used only for rice plants without organic inputs. This study aims to study the synergistic effect of the use of biochar and compost in various ratios on the growth and yield of soybean (*Glycine max L.*) in paddy soil after rice. The research was conducted from September to December 2022 in Bawang Hamlet, Tunggul Wulung Village, Lowokwaru District, Malang City. The study used a non-factorial Randomized Completely Block Design (RCBD) consisting of 7 treatments with 3 replications namely K0 (without biochar and compost), K1 (20% biochar and 80% compost), K2 (40% biochar and 60% compost), K3 (60% biochar and 40% compost), K4 (80% biochar and 20% compost), K5 (100% biochar) and K6 (100% compost). The percentage of biochar and compost is based on use at a dose of 500 g/polybag. The use of 20% biochar and 80% compost showed the highest yield, namely 3.55 t/ha. Most showed positive correlations and strong associations between soil organic carbon, nitrogen, phosphorus, and potassium and soybean yield and yield components.

ABSTRAK

Pengelolaan sawah tanpa masa istirahat serta tidak melakukan pergiliran tanaman menyebabkan berkurangnya bahan organik. Bahan organik tanah sebagai penentu kesuburan tanah agar tanah mampu menyuplai unsur hara bagi tanaman. Pupuk organik dan bahan pembenah tanah (amelioran) merupakan kombinasi yang mampu meningkatkan bahan organik tanah dan menyediakan unsur hara. Biochar-kompos memerlukan perbandingan yang tepat pada tanah sawah yang telah lama digunakan hanya untuk tanaman padi tanpa input organik. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari efek sinergi penggunaan biochar dan kompos pada berbagai perbandingan terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kedelai (*Glycine max L.*) di tanah sawah setelah padi. Penelitian dilaksanakan pada bulan September sampai Desember 2022 di Dusun Bawang, Kelurahan Tunggul Wulung, Kecamatan Lowokwaru, Kota Malang. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Kelompok Lengkap (RAKL) non faktorial terdiri atas 7 perlakuan dengan 3 ulangan yaitu K0 (tanpa biochar dan kompos), K1 (20% biochar dan 80% kompos), K2 (40% biochar dan 60% kompos), K3 (60% biochar dan 40% kompos), K4 (80% biochar dan 20% kompos), K5 (100% biochar) dan K6 (100% kompos). Persentase biochar dan kompos didasarkan atas penggunaan pada dosis sebanyak 500 g/polybag. Penggunaan 20% biochar dan 80% kompos menunjukkan hasil panen yang paling tinggi yaitu 3,55 t/ha. Sebagian besar menunjukkan korelasi positif dan hubungan kuat antara karbon organik, nitrogen, fosfor, dan kalium di dalam tanah dengan komponen hasil dan hasil kedelai.

KATA KUNCI:

Biochar sekam padi, kompos sampah organik, karbon organik tanah, NPK

1. PENDAHULUAN

Pengelolaan sawah tanpa masa istirahat menurunkan kesuburan pada tanah tanpa adanya upaya pengembalian sisa panen ke dalam tanah (Supriyadi *et al.*, 2017). Kebiasaan petani yang kurang mampu mengelola lahan pertanian dengan baik menyebabkan penurunan bahan organik tanah. Salah satu yang dilakukan adalah menanam padi terus-menerus sepanjang waktu tanpa digilir dengan tanaman pangan lainnya. Demikian pula anggapan petani tentang hasil padi yang tinggi dengan menggunakan pupuk kimia yang berlebih sekalipun tanpa pupuk organik. Menurut Suprihatin & Amirullah (2019), penurunan kualitas tanah sawah disebabkan oleh pengaplikasian pupuk kimia dan pestisida kimia yang overdosis dan dilakukan secara terus-menerus. Selanjutnya dikemukakan Kautsar (2018), permeabilitas dan porositas tanah menjadi turun, karena tanah sawah selalu digunakan setiap musim tanamnya, apalagi pada tanah sawah beririgasi. Kandungan bahan organik yang rendah cenderung menyebabkan begitu banyak masalah pada tanah seperti pH tanah yang cenderung masam, kapasitas tukar kation (KTK) rendah, serta struktur tanah yang kurang baik Syawal *et al.*, 2017). Narka (2014) menjelaskan bahwa ketersediaan bahan organik tanah yang diperlukan bagi peningkatan sifat fisik, kimia dan biologi tanah serta pertumbuhan tanaman berkisar antara 2–5 %. Hasil penelitian telah membuktikan biochar dapat digunakan untuk meningkatkan bahan organik tanah pada beberapa jenis tanah (Widowati *et al.*, 2017; Widowati *et al.*, 2020a; Widowati *et al.*, 2020b; Kolambani dan Widowati 2022).

Biochar merupakan arang padat yang kaya akan C hasil limbah biomasa dan dibuat menggunakan metode termokimia transformasi bahan baku biomasa (Wang *et al.*, 2022). Sekam padi merupakan limbah biomasa yang sangat potensial dan sering dipakai sebagai bahan baku biochar. Biochar bukan merupakan pupuk organik karena tidak mampu menyediakan unsur hara bagi tanaman, namun KTK yang sangat tinggi pada biochar memberikan pengaruh yang baik bagi tanaman karena menyediakan kation-kation yang menunjang pertumbuhan tanaman. Abel *et al.* (2021) mengemukakan bahwa C-organik dan N meningkat pada perlakuan dengan dosis 8 t/ha biochar sekam padi dan kompos 30 t/. Namun pengaplikasian biochar tunggal dengan dosis 10 t/ha juga menunjukkan peningkatan produksi dari kedelai yang ditanam di lahan sawah sebesar 0,93 t/ha (Azis *et al.* (2015). Demikian pula penggunaan kompos sampah kota dosis 30 g/tanaman mampu meningkatkan diameter batang dan juga produksi biji per plot tanaman kedelai (Samosir *et al.*, 2015).

Bahan organik yang disebut kompos dihasilkan dari sisa tanaman ataupun hewan yang telah terdekomposisi dengan bantuan mikroorganisme. Kompos mengandung unsur hara yang penting dan baik untuk kesuburan tanah dan meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman (Lelu *et al.*, 2018). Fadli (2021) menyebutkan penggunaan kompos jerami dan kompos *Thitonia* mampu meningkatkan pH tanah sawah dengan dosis terbaik 5 t/ha. Menurut Khairuna *et al.* (2015), pemberian kompos sampah organik dengan dosis 225 g/polybag pada tanaman kedelai meningkatkan pH dan C-organik tanah. Ralle *et al.* (2021) menyampaikan pengaplikasian kompos dengan dosis 2–4 ton/ha mampu meningkatkan produksi dari tanaman kedelai. Di masa lalu, biochar yang dicampur dengan sampah organik meningkatkan kesuburan tanah tropis yang buruk (De Gisi *et al.*, 2014). Wang *et al.* (2019) dan Akmal *et al.* (2019) menjelaskan biochar diterapkan dalam kombinasi dengan kompos memiliki efek sinergis pada pertumbuhan dan penyerapan unsur hara oleh tanaman. Menurut Zhou *et al.* (2023), amandemen biochar bersama kompos dapat meningkatkan produktivitas tanaman secara nyata sebesar 74,9%, N total sebesar 37,6%, dan bahan organik tanah sebesar 98,6%. Namun, spesifik lokasi dan pengelolaan tanah perlu dipertimbangkan mengingat beragamnya aplikasi tingkat biochar-kompos, jenis tanah dan tanaman. Wang *et al.*, (2019) mengemukakan tidak ada hasil tanaman yang bertambah dengan dosis 20 dan 30 t/ha, tetapi produktivitas tanaman meningkat secara signifikan sebesar 48,3 dan 15,7 % dengan dosis aplikasi masing-masing <20 t/ha dan > 30 t/ha pada pH tanah 4–5. Biochar dapat meningkatkan sifat tanah

seperti KTK, porositas, kapasitas menahan air, retensi nutrisi atau aktivitas mikroba (Hussain *et al.*, 2016). Kompos dan biochar meningkatkan derajat agregasi tanah, porositas total tanah dan biomassa mikroba tanah (Liu *et al.*, 2021).

Efek sinergis dari biochar dan kompos yang diterapkan bersama untuk perbaikan tanah. Namun, pada umumnya petani lebih suka menggunakan biochar atau kompos saja daripada penggunaan biochar-kompos. Kinerja biochar-kompos cenderung lebih baik daripada biochar atau kompos saja pada tanah yang terkontaminasi logam berat atau polutan organik (Qian *et al.*, 2023). Lebih lanjut disampaikan biochar-kompos mengurangi laju mineralisasi bahan organik tanah, defisiensi P dan toksisitas Al, dan secara signifikan meningkatkan hasil panen di sebagian besar tanah tropis (Qian *et al.*, 2023). Gabungan biochar-kompos memerlukan perbandingan yang tepat pada tanah sawah yang telah lama digunakan untuk budidaya tanaman padi terus-menerus. Oleh karena itu, perlu dilakukan untuk mempelajari efek gabungan biochar-kompos pada tanaman kedelai pada tanah sawah bekas padi tanpa ada pergiliran tanaman sepanjang 5 tahun. Kedelai merupakan tanaman yang tergolong tanaman pangan dan banyak dibudidayakan di sawah setelah padi. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik 2021 produksi kedelai dalam 3 tahun terakhir 2019-2021 masih berfluktuasi. Atas dasar itu maka penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh perbandingan biochar-kompos terhadap pertumbuhan dan hasil kedelai pada tanah sawah bekas padi.

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September sampai Desember 2022 di Dusun Bawang Kelurahan Tunggul Wulung, Kecamatan Lowokwaru, Kota Malang. Analisis biochar dan kompos dilakukan di Laboratorium Kimia Tanah Universitas Brawijaya. Analisis tanah dilakukan di Laboratorium Tanah dan Tanaman BALITKABI, Malang.

2.2 Bahan dan Alat Penelitian

Bahan yang dipakai dalam penelitian ini yaitu media tanam adalah tanah sawah dengan ordo Inceptisol dengan riwayat pengelolaan 5 tahun ditanami padi tanpa ada pergiliran tanaman dan hanya menggunakan pupuk kimia. Benih kedelai dengan varietas Dena 1 yang didapatkan dari BALITKABI Malang, biochar sekam padi yang dibuat di Laboratorium Tanah Universitas Tribhuwana Tungadewi Malang. Kompos sampah organik didapatkan dari Tempat Pengelolaan Sampah Terpadu (TPST) Desa Mulyoagung, Kecamatan Dau, Kabupaten Malang. Polybag dengan ukuran 45x 45 cm.

2.3 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan RAKL non faktorial, yang terdiri atas 7 perlakuan (Tabel 1) yang diulang 3 kali sehingga terdapat 21 unit percobaan. Setiap perlakuan terdapat 8 tanaman sehingga keseluruhan terdapat 168 polybag. Tahapan pertama dalam penelitian ini adalah penyiapan biochar sekam padi dan kompos. Pembuatan biochar menggunakan metode pirolisis dengan dibakar selama 2–3 jam dengan suhu mencapai 350-500 °C. Biochar dan kompos dicampur sesuai perlakuan dan dimasukkan ke dalam karung dan diikat kemudian diinkubasikan selama 7 hari. Tahapan selanjutnya yaitu penimbangan tanah dengan bobot 10 kg untuk setiap polybag. Kemudian biochar dan kompos diaplikasikan ke polybag dengan dosis 500 g per polybag untuk masing-masing perlakuan. Tanah yang telah diaplikasikan biochar dan kompos diinkubasikan selama 7 hari sebelum penanaman benih. Tahapan selanjutnya pengambilan sampel tanah dari setiap polybag pada masing-masing perlakuan. Penanaman dilakukan pada kedalaman 2 cm dan jumlah benih per polybag sebanyak 2 benih. Penjarangan dan penyulaman tanaman dilakukan pada 7 hari setelah benih ditanam.

Tabel 1. Persentase biochar dan atau kompos terhadap dosis perlakuan

Kode	Perlakuan (*)	Kebutuhan
K0	Kontrol	Tanpa biochar dan kompos
K1	Biochar 20% dan kompos 80%	Biochar 100 g dan kompos 400 g
K2	Biochar 40% dan kompos 60%	Biochar 200 g dan kompos 300 g
K3	Biochar 60% dan kompos 40%	Biochar 300 g dan kompos 200 g
K4	Biochar 80% dan kompos 20%	Biochar 400 g dan kompos 100 g
K5	Biochar 100%	Biochar 500 g dan tanpa kompos
K6	Kompos 100%	Kompos 500 g dan tanpa biochar

Keterangan: * persentase terhadap dosis biochar dan kompos sebanyak 500 g/polybag

Penyiraman dilakukan jika kadar air tanah berada pada 70% kapasitas lapangan. Penyianggulma dilakukan setiap 3 minggu. Pemupukan NPK dengan dosis setengah dari dosis anjuran yaitu 50 kg/ha setara dengan 0,63 g/polybag. Pemupukan dilakukan satu kali yaitu pada 7 HST dan dilakukan sore hari. Jarak antara lubang pupuk dengan lubang tanam yaitu 7 cm.

2.4 Variabel Pengamatan

Variabel pengamatan terdiri atas pengamatan sampel biochar sekam padi meliputi analisis C-organik (metode Walkley and Black), N (Kjeldah), P dan K (metode Oksidasi Basah HNO_3 dan HClO_4). Analisis unsur hara kompos sampah meliputi C-organik (metode Walkley and Black), N (metode Kjeldah), P dan K (metode Ekstraksi Total HNO_3 dan HClO_4). Pengamatan sampel tanah 7 hari setelah inkubasi (pH, C-organik, N, P dan K). Analisis pH menggunakan metode pHmetri (H_2O), C-organik menggunakan metode Walkley and Black, N menggunakan metode Kjeldah, P menggunakan metode P-Olsen, dan K menggunakan metode nilai tukar kation. Pengamatan pertumbuhan (tinggi tanaman, jumlah daun, umur berbunga, umur terbentuknya polong berat basah brangkas dan jumlah bintil akar), sedangkan pengamatan hasil terdiri atas pengamatan jumlah polong, bobot 100 biji, bobot kering biji dan hasil (t/ha).

Data dianalisis dengan menggunakan analisis keragaman atau ANOVA (*Analysis of Variance*). Jika perlakuan berpengaruh nyata maka dilanjutkan dengan Uji Beda Nyata Terkecil (BNT) dengan taraf nyata 5%.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Biochar Sekam Padi, Kompos Sampah Organik, dan Tanah Setelah Diberi Perlakuan

Berdasarkan hasil analisis laboratorium yang telah diperoleh (Tabel 2) kadar unsur C-organik, N, dan P pada kompos sampah organik lebih tinggi daripada biochar sekam padi. Sedangkan kadar K pada kompos lebih rendah dari pada biochar sekam padi. Hal serupa juga telah dinyatakan oleh Widowati *et al.*, (2020c), kadar C-organik dalam kompos jauh lebih tinggi daripada kadar C-organik pada biochar sekam padi.

Penambahan biochar dan kompos mampu menaikkan pH tanah kontrol dari agak masam menjadi netral (Tabel 3). Kenaikan pH disebabkan karena adanya dekomposisi bahan organik dari pemberian biochar dan kompos dengan melepaskan mineral berupa kation alkali (Ca, K) sehingga meningkatkan konsentrasi ion OH^- (hidroksida) dan menyebabkannya bereaksi dengan ion H^+ sehingga terbentuk H_2O yang menaikkan pH tanah (Ariffin *et al.*, 2022). Nitrogen pada tanah yang diberi perlakuan biochar dan kompos juga mengalami peningkatan namun belum semua perlakuan menunjukkan adanya peningkatan yang signifikan (Tabel 3). Nilai C-organik meningkat pada perlakuan K1 (biochar 20% kompos 80%), K2 (biochar 40% kompos 60%) dan K6 (kompos 100%) sedangkan pada perlakuan yang lain belum berbeda jauh dengan perlakuan kontrol (Tabel 3).

Tabel 2. Karakteristik biochar sekam padi dan kompos sampah organik

Karakteristik	Jenis Sampel	
	Biochar Sekam Padi	Kompos Sampah Organik
C-organik (%)	0,63	13,81
N-total (%)	0,53	1,10
P-total (%)	0,63	1,30
K-total (%)	0,82	0,60

Tabel 3. Karakteristik pH, C-organik, Nitrogen (N), Phospor (P) dan Kalium(K) pada tanah setelah 7 hari aplikasi perlakuan

Perlakuan	Hasil				
	pH (H ₂ O)	C-Organik (%)	N-Total (%)	P ₂ O ₅ (ppm)	K (cmol ⁺ /kg)
K0 (Kontrol)	6,28	1,28 (R)	0,15 (R)	134 (ST)	0,28 (R)
K1 (Biochar 20% kompos 80%)	7,23	2,98 (S)	0,24 (S)	310 (ST)	3,46 (ST)
K2 (Biochar 40% kompos 60%)	7,38	2,14 (S)	0,28 (S)	298 (ST)	2,75 (ST)
K3(Biochar 60% kompos 40%)	7,13	1,45 (R)	0,20 (S)	222 (ST)	1,34 (ST)
K4(Biochar 80% kompos 20%)	6,87	1,99 (R)	0,19 (R)	239 (ST)	1,21 (ST)
K5(biochar 100%)	6,74	1,61 (R)	0,15 (R)	180 (ST)	0,75 (ST)
K6(Kompos 100%)	7,21	4,12 (T)	0,30 (S)	296 (ST)	4,17 (ST)

Keterangan: ST= Sangat Tinggi; T= Tinggi; S= Sedang; R= Rendah

Berdasarkan penelitian Oswaldus *et al.* (2022) yang menyatakan bahwa kandungan C-organik dalam tanah bergantung pada kandungan C-organik pada pupuk organik ataupun bahan pembenah yang diaplikasikan ke dalam tanah. Tingginya kadar C-organik dalam tanah akan berpengaruh terhadap pertambahan kadar N dan juga penurunan kemasaman pada tanah (Farrasati *et al.*, 2019). Kandungan P pada tanah dari masing-masing perlakuan tergolong dalam kategori yang sangat tinggi. Hal ini kemungkinan besar disebabkan karena tanah yang digunakan sebelumnya bekas sawah yang banyak mendapatkan pupuk P. Hal ini sesuai pernyataan dari Herman & Resigia (2018) tanah sawah yang diberi pupuk P berlebihan menyebabkan terjadinya pengendapan P pada lapisan bawah tanah. Pengaplikasian biochar dan kompos mampu meningkatkan K tersedia dalam tanah. Pernyataan ini sejalan dengan penelitian Kolambani & Widowati (2022) yang melaporkan bahwa pengaplikasian biochar sekam padi, tongkol jagung dan limbah tembakau dan pupuk organik dapat meningkatkan jumlah K tersedia di tanah Inceptisol.

3.2 Pengaruh Biochar dan Kompos terhadap Pertumbuhan Tanaman Kedelai

Pemberian biochar dan kompos berpengaruh nyata terhadap parameter tinggi tanaman pada umur 2 sampai 6 MST. Pengaplikasian biochar dan kompos untuk parameter tinggi tanaman mengalami peningkatan setiap pertambahan umur tanaman (Tabel 4). Tinggi tanaman yang tertinggi 54,51 cm pada perlakuan K2 (biochar 40% kompos 80%) dan berbeda dengan perlakuan yang lain dan tinggi tanaman terendah 42,34 cm pada perlakuan K5(biochar 100 %).

Pertambahan tinggi setiap umur tanaman disebabkan oleh kadar hara yang terdapat dalam tanah sebagai efek dari aplikasi biochar dan kompos yang merangsang mikroba tanah untuk menyediakan unsur hara bagi tanaman. Kolambani & Widowati (2022) melaporkan pengaplikasian biochar sekam padi dengan dosis 150 g/polybag dan kompos sampah kota 150 g/polybag mampu bersinergi dengan baik dan meningkatkan bahan organik tanah. Ketersediaan N dalam tanah yang memiliki peran penting dalam proses pertambahan tinggi tanaman. Seiring dengan penelitian dari Pamungkas & Prasetyo (2017) unsur hara N berpengaruh kuat terhadap pertambahan tinggi tanaman dengan jumlah daun tanaman kedelai.

Tabel 4. Pengaruh Pengaplikasian Biochar dan Kompos terhadap Tinggi Tanaman, Jumlah Daun, Umur Berbunga dan Umur Terbentuknya Polong

Perlakuan	Tinggi Tanaman (cm) Umur (MST)		Jumlah Daun (helai) Umur (MST)		Umur berbunga (hari)	Umur terbentuknya polong
	2	6	2	6		
K0 (Kontrol)	10,28 b	42,80 a	4,89	45,06 b	42,67 bc	51,89 e
K1 (Biochar 20% kompos 80%)	9,66 a	52,73 d	5,00	64,83 f	41,17 a	48,50 c
K2 (Biochar 40% kompos 60%)	10,47 b	54,51 e	5,06	55,11 e	42,22 b	47,72 b
K3(Biochar 60% kompos 40%)	10,48 b	51,52 c	5,00	52,28 d	42,67 bc	49,78 d
K4(Biochar 80% kompos 20%)	9,77 ab	44,79 b	5,00	50,33 c	44,72 d	53,56 f
K5(biochar 100%)	9,43 a	42,34 a	4,94	42,00 a	43,17 c	54,00 f
K6(Kompos 100%)	10,12 b	53,23 d	5,00	61,67 f	40,83 a	46,72 a
BNT 5%	0,40	0,68	tn	0,69	1,00	0,81

Keterangan: angka pada kolom yang sama diikuti dengan huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji BNT taraf 5%, tn: tidak nyata

Penerapan biochar dan kompos berpengaruh terhadap peningkatan jumlah daun setiap perlakuan seiring dengan peningkatan umur tanaman. Semua perlakuan berpengaruh nyata kecuali pada umur 2 MST (Tabel 4). Umur 6 MST perlakuan dengan jumlah daun tertinggi 64,83 helai pada perlakuan K1 (biochar 20% kompos 80%) namun tidak berbeda dengan perlakuan K6. Jumlah daun yang terendah 42,00 helai pada perlakuan K5 (biochar 100%) namun tidak berbeda nyata dengan perlakuan kontrol.

Nitrogen merupakan salah satu unsur hara yang sangat menentukan perkembangan daun (Abel *et al.*, 2021). Perlakuan dengan dosis kompos lebih tinggi seperti pada K1, K2 dan K3 serta K6 memiliki jumlah daun yang lebih banyak dibandingkan dengan perlakuan kontrol dan perlakuan yang perbandingan dosis biochar paling tinggi. Hal ini diduga karena unsur hara belum cukup tersedia bagi tanaman karena biochar membutuhkan waktu yang cukup lama untuk terdekomposisi di tanah (Ramadan *et al.*, 2020).

Berdasarkan hasil penelitian pemberian biochar dan kompos (Tabel 4) menunjukkan perlakuan dengan umur berbunga paling cepat pada perlakuan K6 (kompos 100%) dengan umur berbunga 40 hari setelah tanam. Perlakuan dengan umur berbunga paling lambat K4 (biochar 80% kompos 20%) dengan umur berbunga pada 44 HST. Berdasarkan perbandingan dengan umur berbunga menurut deskripsi varietas kedelai Dena 1 adanya keterlambatan masa tanaman mulai berbunga. Hal ini diduga karena curah hujan yang tinggi selama proses pembentukan bunga. Kondisi iklim dan curah hujan yang kurang baik bisa menghambat proses pembentukan bunga pada tanaman kedelai (Chairunas *et al.*, 2017). Berdasarkan data Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Karangploso, Kota Malang curah hujan pada bulan Oktober 2022 berkisar antara 301–400 mm. Curah hujan yang berlebihan dan cuaca yang tidak menentu mengakibatkan tanaman kedelai mengalami keterlambatan dalam proses pembentukan bunga (Nugroho & Jumakir, 2020).

Fase pembentukan polong rata-rata terbentuk ± 7 hari setelah masa pembungaan (Analpi, 2015). Pembentukan polong paling cepat pada perlakuan pada umur 46 hari pada perlakuan K6 (kompos 100%) (Tabel 4), diikuti oleh perlakuan K2 dan K3. Umur pembentukan polong paling lama terdapat pada perlakuan K5 (biochar 100%) yaitu pada umur 54 hari setelah tanam namun tidak berbeda nyata dengan perlakuan K4. Tingginya kandungan Fosfor (P) pada tanah (Tabel 3) yang telah diaplikasikan biochar dan kompos mampu memacu pembentukan polong pada kedelai. Kelebihan biochar dan kompos dapat menyerap unsur hara agar tidak tercuci oleh air dengan meningkatkan KTK tanah (Adugna, 2016).

3.3 Pengaruh Biochar dan Kompos terhadap Berat Basah Brangkasan dan Jumlah Bintil Akar Aktif

Berdasarkan hasil penelitian pengaplikasian biochar dan kompos memiliki pengaruh terhadap bobot basah brangkasan tanaman dimana setiap perlakuan berbeda nyata. Bobot basah brangkasan tertinggi 44,24 g pada perlakuan K6 (kompos 100%), sedangkan bobot basah brangkasan terendah 29,74 g pada perlakuan K0 (Tabel 5).

Bobot basah brangkasan yang tinggi mengindikasikan bahwa unsur hara efektif dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman dan menjadi tolak ukur unsur hara yang terserap tanaman cukup tersedia dalam proses metabolisme dari tanaman (Fahrizal *et al.*, 2017). Siregar & Nuraini (2021) yang mengatakan bahwa dengan pemberian bahan organik mampu meningkatkan sifat fisik dari tanah dan mempermudah akar dalam menyerap unsur hara yang bermanfaat bagi tanaman dalam pertumbuhan dan perkembangannya yang berpengaruh terhadap bobot total brangkasan tanaman. Unsur N mampu bekerja secara optimal dalam proses pertumbuhan tanaman pada masa vegetatif terutama dalam hal pembentukan tinggi tanaman dan juga jumlah daun tanaman memiliki pengaruh terhadap bobot basah tanaman. Berdasarkan hasil analisis korelasi antara pengaruh kandungan N terhadap bobot brangkasan ($r = 0,928$) dan koefisien determinasi ($R^2 = 0,861$) hal ini menunjukkan bahwa peningkatan pada nilai N pada tanah akan diikuti oleh pertambahan bobot basah tanaman sebanyak 86,1%.

Berdasarkan hasil penelitian (Tabel 5) jumlah bintil akar aktif terbanyak 26,39 buah pada perlakuan K1 (biochar 20% kompos 80%) berbeda nyata dengan perlakuan yang lain. Jumlah bintil akar paling rendah 14,72 buah pada perlakuan K5 (biochar 100%) namun tidak berbeda nyata dengan perlakuan K0. Bintil akar yang banyak pada tanaman menunjukkan adanya pengaruh unsur hara N yang diberikan lewat penggunaan biochar ataupun kompos. Pernyataan ini juga didukung oleh Sirait *et al.* (2020) pada penelitiannya proporsi bintil akar pada tanaman kedelai dapat ditingkatkan dengan menggunakan kascing dosis 25 g/polybag dan biochar tempurung kelapa dosis 50 g/polybag. persentase bintil akar yang tinggi berpengaruh terhadap ketersediaan N dalam tanah sebagai salah satu penunjang pertumbuhan bagi tanaman (Lusiana, 2021). Pernyataan ini juga disetujui oleh Sari *et al.* (2015), ada hubungan korelasi yang positif antara peningkatan jumlah bintil akar dan komponen hasil tanaman kedelai hitam.

3.4 Pengaruh Biochar dan Kompos terhadap Komponen Hasil dan Hasil Kedelai

Polong juga merupakan salah satu tempat penimbunan hasil fotosintesis selain biji (Subaedah, 2019). Berdasarkan hasil penelitian (Tabel 6) menunjukkan pengaruh yang nyata untuk setiap perlakuan untuk parameter jumlah polong. Perlakuan dengan jumlah polong tertinggi 73,83 buah pada perlakuan K1. Hal ini diduga karena pengaruh pengaplikasian biochar dan kompos yang dikombinasikan menyediakan cukup nutrisi bagi tanaman terutama yang penting terhadap perkembangan buah dan biji pada tanaman. Hal ini sesuai penelitian Sirait *et al.*, (2020) yang menunjukkan bahwa penambahan bahan organik seperti biochar dan vermikompos mampu menambah polong produktif yang dihasilkan tanaman. Penelitian Yooyen *et al.* (2015) juga menunjukkan bahwa pengaplikasian biochar sekam padi dengan dosis 30 t/ha bisa meningkatkan jumlah polong pada tanaman kedelai. Perlakuan dengan jumlah polong terendah pada perlakuan kontrol (K0) 52,61 buah. Kurangnya asupan bahan organik tanah menjadi faktor yang menyebabkan penurunan kemampuan tanaman dalam pembentukan polong bernas. Penimbunan hasil fotosintesis pada polong yang bisa memaksimalkan proses pembentukan isi polong sangat bergantung kepada ketersediaan air dan nutrisi yang optimal selama proses fotosintesis.

Tabel 6. Pengaruh Pengaplikasian Biochar dan Kompos terhadap Jumlah Polong (buah), Bobot 100 Biji (g), Bobot Kering Biji (g/tan) dan Hasil (ton/ha)

Perlakuan	Berat basah brangkasan (g)	Jumlah bintil akar (buah)	Jumlah Polong (buah)	Bobot 100 biji (g)	Bobot Kering Biji (g/tan)	Hasil (t/ha)
K0 (Kontrol)	29,74 a	15,83 a	52,61a	12,42 a	11,75 a	1,96 a
K1 (Biochar 20% kompos 80%)	42,93 f	26,39 d	73,83 f	15,50 d	21,29 e	3,55 e
K2 (Biochar 40% kompos 60%)	40,07 e	22,28 c	63,11 c	13,57 b	15,89 c	2,61 c
K3 (Biochar 60% kompos 40%)	36,55 d	20,39 b	70,28 e	14,29 c	18,60 d	3,10 d
K4 (Biochar 80% kompos 20%)	34,32 c	22,22 c	61,61b	12,47 a	14,07 b	2,35 b
K5 (Biochar 100%)	32,17 b	14,72 a	62,56 bc	14,38 c	16,46 c	2,74 c
K6 (Kompos 100%)	44,24 g	20,33 b	66,83 d	15,61 d	19,16 d	3,24 d
BNT 5%	0,90	1,31	1,00	0,81	0,89	0,19

Keterangan: angka pada kolom yang sama diikuti dengan huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji BNT taraf 5%, tn: tidak nyata.

Bobot 100 biji merupakan berat 100 butir kedelai setelah panen dan dikeringkan (Haitami *et al.*, 2020). Berdasarkan Tabel 6, perlakuan dengan bobot 100 biji tertinggi 15,61 g pada perlakuan K6 (100 % kompos) namun tidak berbeda dengan perlakuan K1. Perlakuan terrendahnya sebanyak 12,42 g pada perlakuan K0 (kontrol) dan tidak berbeda dengan perlakuan K5. Interaksi yang positif antara kandungan unsur P dan bobot 100 biji menunjukkan bahwa adanya pengaruh pengaplikasian dari biochar dan atau kompos terhadap hasil produksi tanaman. Kandungan unsur P yang tinggi pada kompos tersedia bagi tanaman terutama dalam menghasilkan biji (Siregar *et al.*, 2017). Penambahan biochar sebagai bahan ameliorant meningkatkan KTK dalam tanah serta memungkinkan tanaman menyerap unsur hara lebih baik dan menunjang produktivitas kedelai. Pengaplikasian biochar mampu meningkatkan pH tanah dan juga KTK dalam tanah, dan memberikan nutrisi yang menjadi makanan bagi mikroba tanah yang menjadi salah satu penunjang penting dalam pertumbuhan tanaman (Yaashikaa *et al.*, 2020). Sejalan dengan penelitian Fitri *et al.* (2018) bahwa pemberian kompos dengan dosis 25 t/ha optimal meningkatkan produksi dari tanaman kedelai.

Berdasarkan hasil penelitian (Tabel 6) perlakuan biochar-kompos memberikan pengaruh yang nyata terhadap bobot kering biji dengan bobot kering biji tertinggi 21,29 g pada perlakuan K1 (20% biochar-80% kompos) dan berbeda dengan perlakuan yang lain. Bobot kering biji terrendahnya 11,75 g pada perlakuan tanpa biochar dan kompos (kontrol). Berdasarkan hasil analisis pada perlakuan K1 sudah menunjukkan pertumbuhan yang baik, yaitu semua peubah yang diamati pada masa vegetatif maupun pada masa generatif menunjukkan hasil yang lebih baik daripada perlakuan yang lain. Hasil ini menunjukkan bahwa menambahkan biochar dan kompos secara bersamaan dapat membantu tanah untuk nutrisi yang dapat digunakan tanaman. Menurut Siregar *et al.* (2017), penambahan biochar dapat mengubah dinamika komunitas mikroba tanaman dan ketersediaan nutrisi bagi tanaman. Berat kering biji merupakan salah satu indikator ketersediaan dan suplai fotosintesis dari proses fotosintesis selama fase perkembangan embrio (biji) (Adni & Ermadani, 2021). Penelitian Fitri *et al.* (2018) menunjukkan bahwa pemberian biochar sekam padi dosis 30 t/ha dan kompos kulit kopi dosis 30 t/ha memberikan bobot kering biji terbaik pada tanaman kedelai.

Hasil tanaman kedelai menunjukkan bahwa produksi tertinggi terdapat pada perlakuan K1 (20% biochar dan 80% kompos) 3,55 t/ha dan berbeda dengan perlakuan yang lain. Hasil terendah 1,96 t/ha dengan perlakuan K0 (kontrol). Berdasarkan perbandingan dengan data potensi hasil pada deskripsi varietas adanya peningkatan potensi hasil dari tanaman kedelai sebesar 1,22%. Peningkatan hasil kedelai ini merupakan pengaruh dari pemberian biochar dan kompos yang secara

signifikan terhadap perkembangan. Pada pertumbuhan vegetatif perlakuan dengan tinggi tanaman paling bagus adalah pada perlakuan K2 namun pada hasil tanaman perlakuan K2 belum mampu memberikan hasil produksi yang maksimal. Hal ini diduga unsur hara yang terserap tanaman lebih banyak digunakan untuk pertumbuhan vegetatif tanaman yang lebih panjang sehingga memperlambat masa generatif tanaman. Sedangkan perlakuan K1 pada masa pertumbuhan vegetatif memiliki tinggi tanaman yang sama dengan perlakuan K6 dan memiliki jumlah daun yang banyak. Unsur hara yang terserap oleh tanaman mampu bekerja secara maksimal dalam proses fotosintesis sehingga menghasilkan produksi biji yang paling tinggi. Barus (2017) menunjukkan pengaplikasian biochar sekam padi dosis 10 Mg/ha dan kompos jerami padi 10 Mg/ha meningkatkan komponen hasil panen pada tanaman kedelai.

3.5 Hubungan Karakteristik Tanah dengan Komponen Hasil Tanam

Uji korelasi dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui derajat hubungan linier suatu parameter dengan parameter lainnya (Abel *et al.*, 2021). Berdasarkan hasil analisis korelasi antara karakteristik tanah terhadap komponen hasil dan hasil tanaman terdapat korelasi positif antar karakteristik tanah dengan komponen hasil tanaman. Hasil analisis korelasi tertera pada Tabel 7. Karbon organik memiliki hubungan yang positif dengan komponen hasil tanaman kedelai. Hal ini menunjukkan bahwa adanya pengaruh unsur C-organik terhadap peningkatan jumlah polong, bobot 100 biji, bobot kering biji dan hasil kedelai. Karbon organik mampu meningkatkan mekanisme kerja dari mikroba pada tanah yang membantu proses mineralisasi dalam tanah seperti pelarutan P dan fiksasi nitrogen (Nuraini *et al.*, 2015). Siregar dan Nuraini (2021) menunjukkan adanya korelasi yang positif antara C-organik dan berat polong tanaman kedelai dan juga bobot basah brangkas tanaman. Karbon organik memiliki pengaruh yang cukup kuat terhadap peningkatan hasil tanaman kedelai. Penambahan beberapa jenis biochar ke dalam tanah mampu meningkatkan cadangan C-organik dalam tanah (Endriani & Kurniawan, 2018). Biochar dan kompos mampu meningkatkan C-organik pada tanah (Barus, 2016).

Nitrogen memiliki hubungan yang positif dengan kategori yang cukup kuat terhadap jumlah polong, bobot 100 biji, bobot kering biji dan juga hasil kedelai. Adanya hubungan yang positif antara N dengan komponen hasil tanaman kedelai menunjukkan adanya pengaruh antar karakteristik tanah dengan komponen hasil tanaman. Hal ini sejalan dengan Bachtiar *et al.* (2016) yang menyatakan bahwa adanya hubungan yang positif antara unsur N terhadap produktivitas dan hasil tanaman kedelai. Ketersediaan hara N yang optimal pada masa vegetatif akan memberikan hasil dan produksi yang baik terhadap tanaman (Ramadan *et al.*, 2021).

Tabel 7. Hasil analisis korelasi antara karakteristik tanah dengan komponen hasil dan hasil tanaman kedelai

Karakteristik tanah	Komponen Hasil			
	Jumlah polong (buah)	Bobot 100 biji (g)	Bobot kering biji (g/tan)	Hasil (t/ha)
C-organik	0.49***	0.72****	0.62****	0.64****
Nitrogen (N)	0.50***	0.56***	0.56***	0.56***
Fosfor (P)	0.72****	0.60****	0.71****	0.70****
Kalium (K)	0.65****	0.75****	0.74****	0.74****

Keterangan: ****= korelasi positif hubungan sangat kuat; ****= korelasi positif hubungan kuat; ***= korelasi positif hubungan cukup kuat; **= korelasi positif hubungan lemah; *= korelasi positif hubungan sangat lemah (Sugiyono, 2010).

Fosfor memiliki hubungan positif yang kuat terhadap komponen hasil tanaman kedelai. Adanya korelasi yang positif dengan hubungan yang kuat menunjukkan adanya pengaruh antara karakteristik tanah dengan komponen hasil kedelai. Hal ini karena P merupakan unsur hara yang sangat penting untuk perkembangan biji serta pemasakan polong (Samosir *et al.*, 2015). Wahyudin *et al.* (2017) menambahkan bahwa P yang diserap oleh tanaman kedelai mampu meningkatkan pengisian biji, peningkatan jumlah polong total, jumlah polong bernas. Penelitian Siregar *et al.* (2017) menunjukkan adanya korelasi yang positif antara dosis pupuk P dengan bobot kering biji pada kedelai. Pengaplikasian biochar dan kompos menunjang ketersediaan unsur hara bagi pertumbuhan pada masa generatif tanaman (Fitri *et al.*, 2018).

Kalium memiliki korelasi yang positif dengan hubungan yang kuat terhadap jumlah polong, bobot 100 biji, bobot kering biji dan hasil t/ha. Hubungan yang kuat menunjukkan adanya pengaruh antara karakteristik tanah terhadap hasil tanaman kedelai. Selain menjadi unsur hara yang penting untuk transport karbohidrat dari daun ke akar, K juga berperan penting dalam metabolisme tumbuhan. Ridwan dan Hanifa (2016) menyatakan bahwa unsur K sangat berperan penting dalam proses sintesis karbohidrat, lemak dan fotosintesis. Kekurangan K pada fase pembentukan polong dan pengisian biji akan menyebabkan menurunnya jumlah polong dan biji pada tanaman (Hendriwal *et al.*, 2014).

4. KESIMPULAN

Perbandingan biochar 20% dan kompos 80% memberikan efek sinergi terbaik untuk meningkatkan hasil kedelai sebesar 81,12% dibanding kontrol maupun perlakuan lainnya (19,89%–65,31%). Aplikasi biochar dan kompos pada berbagai perbandingan dapat meningkatkan pH tanah dari agak masam menjadi netral dan kadar P dan K juga meningkat pada berbagai perbandingan biochar-kompos, namun kadar C-organik tertinggi diperoleh pada aplikasi kompos saja. Kadar N meningkat dengan perbandingan 20-60% biochar dan 40-80% kompos.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Laboratorium Energi Terbarukan Universitas Tribhuwana Tunggaladewi yang telah membantu pembuatan biochar.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Abel, G., R. Suntari, & A. Citraesmini. 2021. Pengaruh Biochar Sekam Padi dan Kompos terhadap C-organik, N total, C/N tanah, Serapan N dan Pertumbuhan Tanaman Jagung di Ultisol. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*. 8(2):451–460.
- Adni M. & A. Ermadani. 2021. Pengaruh Aplikasi Biochar dan Pupuk Fosfat terhadap Pertumbuhan dan Hasil Kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) di Tanah Alfisol. *Jurnal Solum*. 18(2):45-65.
- Adugna, G. 2016. A review on impact of compost on soil properties, water use, and crop productivity. *Agricultural Science Research Journal*. 4(3):93–104.
- Akmal, M., Z. Maqbool, K. S. Khan, Q. Hussain, S. S. Ijaz, M. Iqbal, & H. Rafa. 2019. Integrated use of biochar and compost to improve soil microbial activity, nutrient availability, and plant growth in arid soil. *Arabian Journal of Geosciences*. 12 (7):232.
- Alnapi, A., K. 2015. Kedelai Peluang dan Tantangan. Yogyakarta. LPPM UNWIM. 196 hlm.
- Arifin, Z., M. Ma'shum, L. E. Susilowati, & B. Bustan. 2022. Aplikasi Biochar dalam Mempengaruhi Aktivitas Mikrobia Tanah pada Pertanaman Jagung yang Menerapkan Pola Pemupukan Terpadu. *Prosiding SAINTEK*. 4:207-217.

- Azis, A., B. A. Bakar, & Chairunas. 2015. Pengaruh Penggunaan Biochar terhadap Efisiensi Pemupukan Kedelai di Lahan Sawah Kabupaten Aceh Timur, *In: Prosiding Seminar Hasil Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi*. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP) Aceh, pp. 117–123.
- Bachtiar, B., M. Ghulamahdi, M. Melati, D. Guntari, & A. Sutandi. 2016. Kebutuhan Nitrogen Tanaman Kedelai pada Tanah Mineral dan Mineral Bergambut dengan Budidaya Jenuh Air. *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan*. 35(3):124293.
- Balai Penelitian Tanah. 2009. Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air dan Pupuk. Petunjuk Teknis, edisi 2. Bogor.
- Barus, J. 2017. Soil Chemical Properties and Soybean Yield Due to Application of Biochar and Compost of Plant Waste. *Journal of Tropical Soils*. 21(1): 1-7.
- BPS. 2021. Statistik Kedelai Indonesia. Badan Pusat Statistik Indonesia. Jakarta.
- Chairunas, A. A., B. A. Bakar, & D. Darmadi. 2017. Pemanfaatan biochar dan efisiensi pemupukan jagung mendukung program pengelolaan tanaman terpadu di Provinsi Aceh. *In Prosiding Seminar Nasional Agroinovasi Spesifik Lokasi Untuk Ketahanan Pangan Pada Era Masyarakat Ekonomi ASEAN*. pp. 224-234.
- Endriani, E. & A. Kurniawan. 2018. Konservasi Tanah dan Karbon Melalui Pemanfaatan Biochar Pada Pertanaman Kedelai. *Jurnal Ilmiah Ilmu Terapan Universitas Jambi[JITUJ]*. 2(2):93–106.
- Fadhli, R. 2021. Perubahan Sifat Kimia Tanah Sawah di Kabupaten Bener Meriah oleh Pemberian Kompos Tithonia dan Jerami Padi. *Jurnal Real Riset*. 3(1):61–68.
- Farrasati, R., I. Pradiko, S. Rahutomo, E. S. Sutarta, H. Santoso, & F. Hidayat. 2019. C-organik Tanah di Perkebunan Kelapa Sawit Sumatera Utara: Status dan Hubungan dengan Beberapa Sifat Kimia Tanah. *Jurnal Tanah dan Iklim*. 43(2):157-165.
- Fitri, hafiza, Rosmiati. 2018. Pengaruh Biochar dan Kompos Kulit Kopi terhadap Pertumbuhan dan Hasil Produksi Kedelai (*Glycine max*, L). *Prosiding Seminar Nasional Pertanian dan Perikanan 1*, 163–168.
- Fitri, E.N., M. I. Bahua, & W. Pembengo. 2018. Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Kedelai (*Glycine max* L. Merrill) Berdasarkan Variasi Jarak Tanam dan Pemberian Pupuk Organik Kompos. *Jatt*. 7(3):289–297.
- Haitami, A., E. Indrawanis, C. Ezward, & W. Wahyudi. 2020. Keragaan Pertumbuhan dan Produksi Beberapa Varietas Kedelai (*Glycine max* L.) pada Gawangan TBM Kelapa Sawit. *Agrotekma: Jurnal Agroteknologi dan Ilmu Pertanian*. 4(2):73-82.
- Hendrival, Latifah, & Idawati. 2014. Pengaruh Pemupukan Kalium terhadap Perkembangan Populasi Kutu Daun (*Aphis glycines* Matsumura) dan Hasil Kedelai. *Jurnal Floratek*. 9(2): 83–92.
- Herman, W., E. Resigia. 2018. Pemanfaatan Biochar Sekam dan Kompos Jerami Padi terhadap Pertumbuhan dan Produksi Padi (*Oryza sativa*) pada Tanah Ordo Ultisol. *Jurnal Ilmiah Pertanian*. 15(2): 42–50.
- Hussain, A., M. Zhang, H. K. Üçpunar, T. Svensson, E. Quillery, N. Gompel, R. Ignell, I. C. Grunwald Kadow. 2016. Ionotropic Chemosensory Receptors Mediate the Taste and Smell of Polyamines. *PLoS Biol*. 14(5): [e1002454](https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002454).
- Fahrizal, I., & R. N. R. Arifah. 2017. Respon Tanaman Kedelai terhadap Inokulasi Mikoriza Arbuskula dan Pemberian Pupuk Fosfor pada Tanah Masam. *Jurnal Agronida*. 3:95–106.
- Kautsar, V. 2018. Pengaruh Budidaya Padi Organik terhadap Kompaksi dan Transformasi Lapisan Tapak Bajak. *Jurnal Agroteknose*. 8(2):45–56.
- Khairuna, K., S. Syafruddin, & M. Marlina. 2015. Pengaruh Fungi Mikoriza Arbuskular dan Kompos pada Tanaman Kedelai terhadap Sifat Kimia Tanah. *Jurnal Floratek*. 10(1):1-9.
- Kolambani, F. U., & W. Widowati. 2022. Changes in chemical properties of three soil types after application of biochars and organic fertilizers for two years. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*. 9(4):3715-3724.

- Lelu, P.K., Y. P. Situmeang, M. Suarta. 2018. Aplikasi Biochar dan Kompos terhadap Peningkatan Hasil Tanaman Jagung (*Zea mays* L.). *GEMA AGRO*. 23(1):24-32.
- Liu, D. 2021. Biochar and compost enhance soil quality and growth of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) under saline conditions. *Scientific Reports*.11(1):1-11.
- Lusiana, N.P.N. 2021. Pemanfaatan Biochar sebagai Pembawa Rhizobium terhadap Pembentukan Bintil Akar dan Hasil Tanaman Kedelai (*Glycine max* L. Merril). *Agrotrop: Journal on Agriculture Science*. 11:189.
- Narka, I.W. 2014. Kadar Bahan Organik Tanah pada Tanah Sawah dan Tegalan di Bali serta Hubungannya dengan Tekstur Tanah. *Agrotrop: Journal on Agriculture Science*. 2(2):101–107.
- Nugroho, H. & Jumakir. 2020. Respon Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Kedelai terhadap Iklim Mikro. *Seminar Nasional Virtual*. 265–274.
- Nuraini, Y., F. N. Afandi, & B. Siswanto. 2015. Pengaruh Pemberian Berbagai Jenis Bahan Organik terhadap Sifat Kimia Tanah pada Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Ubi Jalar di Entisol Ngrangkah Pawon, Kediri. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*. 2(2):237–244.
- Oswaldus, O., W. Widowati, & H. Karamina. 2022. Impact of Biochar Use After Five Years in Vertisol and NPK Fertilization on Yield of Shallot (*Allium ascalonicum* L.). *Jurnal Budidaya Pertanian*. 18(1): 35-41.
- Pamungkas, R. Y., & B. Prasetya. 2017. Pemanfaatan bakteri penambat N sebagai Pupuk Hayati dan Pengaruhnya terhadap Serapan Nitrogen Tanaman Kedelai pada Alfisol. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*. 4(2):533-541.
- Qian, S., Z. Xuerong, Yukui Fu, S. Biao, Y. Huchuan, C. Zhexin, S. Qian, Y. Haoyang, Q. Lei, & L. Cui. 2023. Biochar-compost as a new option for soil improvement: Application in various problem soils. *Science of The Total Environment*. 870:(162024).
- Ralle, A., S. Alimuddin, & S. Subaedah. 2021. Pemberian Berbagai Dosis Kompos terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Kedelai pada Tanah yang Telah Diinokulasi dengan Mikoriza. *Agrotek: Jurnal Ilmiah Pertanian*. 5(1):17-23.
- Ramadan, G., A. Astina, & R. Susana. 2021. Respon Pertumbuhan dan Hasil Kedelai terhadap Pemberian Kombinasi Pupuk Kandang Sapi dan Biochar Sekam Padi pada Tanah Aluvial. *Jurnal Sains Pertanian Equator*. 10(2):1-10.
- Ridwan, & Hanifa. 2016. Pengaruh Dosis Pupuk Kalium terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Kedelai pada Lahan Kering. *Jurnal AgroPet*. 13(1):43–53.
- Samosir, R.K., R. R. Lahay, & R. I. Damanik. 2015. Respons Pertumbuhan dan Produksi Kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) terhadap Pemberian Kompos Sampah Kota dan Pupuk P. *Jurnal Agroekoteknologi*. 4(1):1838–1848.
- Sari, R., N. Aini, & L. Setyobudi. 2015. Pengaruh Penggunaan Rhizobium dan Penambahan Mulsa Organik Jerami Padi pada Tanaman Kedelai Hitam (*Glycine max* (L) Merrill) Varietas Detam 1. *Jurnal Produksi Tanaman*. 3(8):689–696.
- Sirait, E. E., N. Nelvia, & H. Fauzana. 2020. Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Kedelai (*Glycine max* L.) terhadap Pemberian Vermikompos dan Biochar di Tanah Ultisol. *Jurnal Solum*. 17(2):29-41.
- Siregar, D. A., R. R. Lahay, & N. Rahmawati. 2017. Respons Pertumbuhan dan Produksi Kedelai (*Glycine max* (L. Merril) terhadap Pemberian Biochar Sekam Padi dan Pupuk P: Growth Response and Production of Soybean (*Glycine max* (L. Merril) on application of Rice Husk Biochar and P Fertilizer. *Jurnal Online Agroekoteknologi*. 5(3):722-728.
- Siregar, L., Y. Nuraini. 2020. Pengaruh Kualitas Kompos Paitan (*Tithonia diversifolia*) dan Kotoran Sapi terhadap Hasil dan Bintil Akar Tanaman Kedelai (*Glycine max*. L.) pada Alfisol. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*. 8:249–258.
- Subaedah, S. 2019. Peningkatan Hasil Tanaman Kedelai dengan Perbaikan Teknik Budidaya. Makassar. Fakultas Pertanian Universitas Islam. 75 hlm.

- Suprihatin, A., & J. Amirullah. 2020. Pengaruh Pola Rotasi Tanaman terhadap Perbaikan Sifat Tanah Sawah Irigasi. *Jurnal Sumberdaya Lahan*. 12(1): 49-57.
- Supriyadi, Purwanto, A. Sarijan, Y. Mekiuw, R. Ustiatik, & R. R. Prahesti. 2017. The assessment of soil quality at paddy fields in Merauke, Indonesia. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 23(3):443-448.
- Syawal, F., & A. Rauf, Rahmawaty. 2017. Upaya Rehabilitasi Tanah Sawah Terdegradasi dengan Menggunakan Kompos Sampah Kota di Desa Serdang Kecamatan Beringin Kabupaten Deli Serdang. *Jurnal Pertanian Tropik*. 4(3):183-189.
- Wahyudin, A., F. Y. Wicaksono, A. W. Irwan, R. Ruminta, & R. Fitriani. 2017. Respons Tanaman Kedelai (*Glycine max*) Varietas Wilis Akibat Pemberian Berbagai Dosis Pupuk N, P, K, dan Pupuk Guano pada Tanah Inceptisol Jatinangor. *Kultivasi*. 16(2):333-339.
- Wang, Y., M. B. Villamil, P. C. Davidson, & N. Akdeniz. 2019. A quantitative understanding of the role of co-composted biochar in plant growth using meta-analysis. *Science of the total environment* 685:741-752.
- Wang, C., D. Luo, X. Zhang, R. Huang, Y. Cao, G. Liu, & H. Wang. 2022. Biochar-based slow-release of fertilizers for sustainable agriculture: A mini-review. *Environmental Science and Ecotechnology* 10:100167.
- Widowati, S., T. Iskandar, & H. Karamina. 2017. Characterization of biochar combination with organic fertilizer: the effects on physical properties of some soil types. *Bioscience Research*. 14 (4):955–965.
- Widowati, Sutoyo, H. Karamina, & W. Fikrinda. 2020. Biochar and organic fertilizer utilization in enhancing corn yield on various types of dryland. *Agriculture and Natural Resources*. 54(6): 665–672.
- Widowati, K. Hidayati, & F. Wahyu. 2020. Soil Amendment Impact Soil Organic Matter and Physical Properties on the Three Soil Types After Second Corn Cultivation. *AIMS Agriculture and Food*. 5(1):150-169.
- Widowati, Sutoyo, & K. Hidayati. 2020. Penggunaan Biochar di Lahan Kering. Universitas Negeri Malang. ISBN 978-602-470-187-1. 188 hal.
- Yaashikaa, P. R., P. S. Kumar, S. Varjani, & A. Saravanan. 2020. A critical review of the biochar production techniques, characterization, stability and applications for circular bio-economy. *Biotechnology Reports*.
- Yooyen, J., S. Wijitkosum, & T. Sriburi. 2015. Increasing yield of soybean by adding biochar. *Journal of Environmental Research and Development*. 9(4):1066-1074.
- Zhou, S., J. Zhixiang., S. Junfang, Y. Qixing, Y. Xu, Xiaobin, Li, K. A. Mukesh, & Z. Zengqiang. 2023. Biochar-amended compost as a promising soil amendment for enhancing plant productivity: A meta-analysis study. *Science of The Total Environment*. 879 (25): 163067.