

Pemanfaatan Bioarang pada Beragam Cekaman Air untuk Ketersediaan Fosforus Guna Meningkatkan Produktivitas Kedelai Anjasmoro (*Glycine max* L. Merrill.)

(Utilization of Biochar in Various of Water Stress for Phosphorus Availability to Increase Anjasmoro (*Glycine max* L. Merrill.) Soybean Productivity)

Angga Prasetya*, Sri Nuryani Hidayah Utami, Fathi Alfinur Rizqi, Yulita Windi Nuraini, Melly Pradani

(Diterima Maret 2023/Disetujui November 2023)

ABSTRAK

Produksi kedelai nasional tahun 2021 sampai 2023 secara umum menurun sebagai dampak penyusutan luas areal budi daya. Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi produktivitas kedelai dengan pengaplikasian bioarang (*biochar*) dan pengaturan volume air. Percobaan dilakukan di rumah kaca Lab. Tanah Kuningan pada bulan April–November 2022 dengan menggunakan Rancangan Acak Kelompok Lengkap dua faktor; faktor pertama adalah dosis bioarang (0, 10, 15, dan 20 ton/ha), dan faktor kedua adalah volume air (50% (600 mL), 100% (1200 mL), dan 125% (1800 mL). Parameter fisis yang diamati adalah kelengasan dan tekstur; parameter kimia yang diamati meliputi pH, C-organik, kapasitas tukar kation (KTK), kation basa (Ca, Mg, K, Na), N-total, P-total, dan P-tersedia. Data dianalisis menggunakan *analysis of variance* dilanjutkan dengan uji *Duncan's Multiple Range Test* untuk membandingkan antarperlakuan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi bioarang dengan dosis 20 ton/ha dan volume air 100% secara nyata dapat memperbaiki sifat kimia tanah. pH, KTK, Ca-tersedia, Mg-tersedia, K-tersedia, Na-tersedia, P-total, P-tersedia, dan N-total secara nyata dipengaruhi oleh dosis bioarang dan volume air yang tepat. Semakin banyak aplikasi bioarang semakin baik sifat kimia tanah. Adapun pemberian air sesuai dengan kebutuhan akan meningkatkan ketersediaan unsur hara untuk tanaman.

Kata kunci: bioarang, *biochar*, fosforus, irigasi, kedelai

ABSTRACT

From 2021 to 2023, national soybean production has generally decreased due to shrinking cultivation areas. This study aimed to evaluate soybean productivity by applying biochar and regulating water volume. The experiment was conducted in the greenhouse of the Kuningan Soil Laboratory in April–November 2022 using a two-factor Complete Group Randomized Design; the first factor was the biochar dose (0, 10, 15, and 20 tons/ha), and the second factor was the water volume (50% (600 mL), 100% (1200 mL), and 125% (1800 mL). The physical parameters observed were moisture content and texture. The chemical parameters observed include pH, C-organic, cation exchange capacity (CEC), base cations (Ca, Mg, K, Na), N-total, P-total, and P-available. The data were analyzed using analysis of variance followed by Duncan's Multiple Range Test to compare between treatments. The results showed that applying biochar with a dose of 20 tons/ha and 100% water volume can significantly improve soil chemical properties. pH, CEC, Ca-available, Mg-available, K-available, N-available, P-total, P-available, and N-total are markedly affected by the correct biochar dose and water volume. The more applications of biochar, the better the chemical properties of the soil. The provision of water according to needs will increase the availability of nutrients for plants.

Keywords: biochar, phosphorous, irrigation, soybean

PENDAHULUAN

Kedelai merupakan jenis leguminosa penting karena mengandung protein nabati tinggi yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan gizi masyarakat. Protein nabati tersebut aman bagi kesehatan serta relatif murah dibandingkan dengan protein hewani. Pertumbuhan penduduk yang meningkat setiap tahun,

meningkatkan pula konsumsi kedelai sebagai bahan baku industri olahan pangan seperti tempe dan tahu (Permadi 2014). Berdasarkan data Kementerian Pertanian, pada tahun 2021 sampai 2023 luas lahan budi daya kedelai menurun, yang berdampak pada menurunnya produksi kedelai. Selain media tanam atau ketersediaan lahan, faktor lain yang memengaruhi peningkatan produktivitas kedelai adalah ketersediaan air dan unsur hara.

Andisol adalah salah satu jenis tanah yang dapat dimanfaatkan sebagai media dalam budi daya kedelai. Namun, kandungan fosforus (P) tidak tersedia bagi tanaman karena retensi P pada jenis tanah ini tinggi.

Departemen Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Jalan Flora, Bulaksumur, Yogyakarta 55281

* Penulis Korespondensi:

Email: angga.prasetya.mc@ugm.ac.id

Tanah Andisol didominasi oleh mineral amorf seperti alofan, imogolit, ferihidrit, serta oksida-oksida Al dan Fe yang permukaannya luas (Sukmawati 2011). P adalah salah satu unsur hara makro yang berfungsi dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Kekurangan unsur P akan mengganggu proses metabolisme tanaman (Chu *et al.* 2018). Permasalahan pada tanah Andisol dapat diatasi melalui strategi untuk menurunkan retensi P dan meningkatkan ketersediaan P agar kebutuhan tanaman dapat terpenuhi. Selain unsur hara, kecukupan air pada tanaman kedelai juga harus terpenuhi agar pertumbuhannya maksimal. Kecukupan air untuk tanaman kedelai menjadi penting karena kekurangan maupun kelebihan suplai air akan berdampak pada kualitas serta metabolisme tanaman. Salah satu alternatif untuk mengatasi masalah retensi P dan ketersediaan air untuk menjaga kelembapan tanah adalah dengan mengaplikasikan bioarang (*biochar*).

Bioarang adalah material organik padat dalam wujud arang yang dihasilkan melalui proses pirolisis dengan oksigen terbatas dan mengandung unsur karbon (C) tinggi (Arabi *et al.* 2018). Aplikasinya pada tanah Andisol efektif menurunkan retensi P dan menonaktifkan Al dan Fe sehingga fosfat yang terikat menjadi aktif membentuk ortofosfat yang dapat diserap oleh tanaman. Kandungan gugus fungsi oksigen seperti fenolik ($-OH$), karboksilat ($R-COOH$), karbonil ($C=O$), dan laktonik ($-(C=O)-O-$) dapat mengkelat Al dan Fe (Leng *et al.* 2015). Selain itu, bioarang mampu menyimpan air. Kemampuan tersebut dapat mempertahankan kelembapan tanah serta memenuhi kebutuhan air tanaman serta mengurangi interval waktu penyiraman.

Dalam penelitian ini, aplikasi berbagai dosis bioarang dan volume air dimaksudkan untuk mengevaluasi peningkatan ketersediaan P pada tanah Andisol, serta volume air yang tepat yang dapat menjaga kelembapan tanah sehingga mengurangi kemungkinan pelindian unsur hara akibat kebanyakan air, dan mengurangi frekuensi pemberian air irigasi. Hasil terbaik dari kedua faktor tersebut dapat diacu dalam meningkatkan produksi kedelai dengan input yang tepat dan tidak berlebihan.

METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Penelitian dilaksanakan pada April–November 2022 dengan sampel tanah dari Desa Sidorejo, Ngablak,

Tabel 1 Kombinasi perlakuan aplikasi bioarang dan irigasi

Perlakuan	Irigasi		
	I ₁	I ₂	I ₃
B ₀	B ₀ I ₁	B ₀ I ₂	B ₀ I ₃
B ₁₀	B ₁₀ I ₁	B ₁₀ I ₂	B ₁₀ I ₃
B ₁₅	B ₁₅ I ₁	B ₁₀ I ₂	B ₁₅ I ₃
B ₂₀	B ₂₀ I ₁	B ₂₀ I ₂	B ₂₀ I ₃
K	KI ₁	KI ₂	KI ₃

Magelang. Kedelai ditanam di rumah kaca Lab. Tanah Kuningan. Sampel dianalisis di Laboratorium Tanah Umum, Departemen Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada. Rancangan penelitian yang digunakan adalah Rancangan Acak Kelompok Lengkap dengan 2 faktor perlakuan. Faktor pertama adalah tanpa bioarang (kontrol), dosis 10, 15, dan 20 ton/ha. Faktor kedua ialah perlakuan pemberian air irigasi 50% (600 mL), 100% (1200mL), dan 125% (1800 mL). Sampel tanah awal diambil secara silang pada bagian *topsoil* dengan kedalaman 0–30 cm. Bioarang bambu disiapkan secara pirolisis pada metode kontiki. Alat yang digunakan ialah sensor lengas. Bahan yang digunakan meliputi tanah, benih kedelai Anjasmoro, pupuk dasar urea dengan dosis 150 kg/ha, KCl dengan dosis 100 kg/ha, serta SP-36 dengan dosis 60 kg/ha (Tabel 1).

Analisis Sampel Tanah

Sampel tanah diambil dari kedalaman 0–30 cm dengan cara silang kemudian dikompositkan. Selanjutnya, sampel dikeringanginkan dan diayak lolos saringan diameter 0,5 mm dan 2 mm. Sifat kimia yang dianalisis: pH-H₂O dengan nisbah 1:2,5 (tanah:air), bahan organik (BO) dengan metode Walkley and Black, kapasitas tukar kation (KTK) dengan amonium asetat pada pH 7, P-tersedia (P-*tsd*) menggunakan pengestraksi Bray. Natrium (Na), kalium (K), kalsium (Ca), dan magnesium (Mg) diekstraksi menggunakan NH₄Cl, dilanjutkan pembacaan dengan fotometer nyala (untuk Na dan K) dan spektrometer serapan atom (AAS) (untuk Ca dan Mg) (Balai Penelitian Tanah 2009).

Analisis Data

Data dianalisis menggunakan *Analisis of Variance* (ANOVA), kemudian diuji dengan uji sidik ragam F (ANOVA) pada taraf nyata 5%. Apabila hasil menunjukkan pengaruh nyata, dilakukan uji lanjut dengan *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) untuk membandingkan pengaruh antar-perlakuan, pengaruh jenis tanah, dan periode tanam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Tanah Awal

Karakteristik tanah awal merupakan parameter yang harus diketahui sebagai tolok ukur untuk mengetahui pengaruh perlakuan pada sifat-sifat tanah. Karakterisasi tanah awal meliputi sifat kimia, fisika, dan

biologi tanah. Sifat-sifat tanah ini akan saling berkaitan dalam menunjang kesuburan tanah dan mendukung pertumbuhan tanaman. Hasil karakterisasi tanah awal terdapat pada Tabel 2. pH tanah aktual pada lahan penelitian, yakni 6,64, termasuk dalam kategori netral. Nilai pH tanah dipengaruhi oleh bahan induk, iklim, bahan organik, serta aktivitas manusia. Nilai pH menunjukkan konsentrasi ion H^+ dalam tanah. Kondisi ideal pada tanah yang dapat dikatakan netral ialah pada kisaran pH 6,6–7,5. pH tanah yang netral akan mendukung pertumbuhan tanaman karena cukup akan kandungan hara dan tidak bersifat racun.

Kadar lengas dapat diartikan sebagai kandungan air yang mengisi pori-pori tanah baik sebagian maupun seluruhnya, dan teradsorpsi oleh partikel tanah. Kelengasan berperan penting dalam proses genesis tanah, keberlangsungan hidup tanaman, dan siklus hara. Kadar lengas pada lahan penelitian adalah 19,05%. Tanah dengan dominasi pasir memiliki ukuran pori besar sehingga aerasinya baik, daya hantar airnya cepat, sehingga kemampuan partikel tanah dalam mengikat hara menjadi rendah.

Bahan organik merupakan senyawa yang telah terdekomposisi lanjut, berupa humus dan senyawa-senyawa anorganik hasil humifikasi, yang berperan dalam meningkatkan kapasitas pegang air, menurunkan *bulk density*, meningkatkan daya jerap dan KTK tanah, serta meningkatkan aktivitas organisme tanah. C-organik merupakan penyusun utama dari bahan organik. Kandungan C-organik pada lahan penelitian mencapai 7,12% dengan harkat sangat tinggi. Tanah Andisol merupakan tanah yang kaya akan karbon karena kandungan Al dan Fe yang ada dalam alofan sehingga lebih efektif dalam mengikat bahan organik (Zieger *et al.* 2018).

Nitrogen (N) merupakan unsur hara makro esensial yang jumlahnya paling sedikit di dalam tanah sebab unsur ini digunakan oleh tanaman dalam jumlah yang sangat banyak. Selain itu, unsur N bersifat sangat mudah hilang akibat pencucian, limpasan, dan penguapan (Hossain *et al.* 2020). Kadar nitrogen total

pada tanah penelitian ialah 0,22% yang termasuk dalam kelas sedang. Salah satu faktor yang memengaruhi kandungan N ialah bahan organik. Kadar N-total pada lahan penelitian diakibatkan oleh sumbangan bahan organik dalam tanah. Fosforus (P) merupakan unsur hara makro esensial yang berperan penting dalam metabolisme tumbuhan. Kadar P-total pada lahan penelitian sangat rendah, hanya 0,02%, sedangkan dalam harkat adalah 9,79 ppm. Menurut Takeda *et al.* (2009), tanah Andisol memiliki masalah utama, yaitu defisiensi P. Tanah ini merupakan tanah yang bersifat andik dan retensi P yang tinggi sehingga unsur tersebut akan diikat dengan Al dan Fe. Selain itu, fraksi amorf Andisol mengakibatkan unsur P terikat sehingga tidak tersedia bagi tanaman.

Kapasitas tukar kation (KTK) adalah kemampuan tanah dalam menyerap dan menukar kembali kation dalam tanah. Pada lahan penelitian, KTK tergolong tinggi, mencapai $31,27 \text{ cmol}(+)\text{kg}^{-1}$. Minardi *et al.* (2013) menyatakan bahwa Andisol berasal dari bahan induk abu vulkanik sehingga mengandung bahan organik yang tinggi yang menghasilkan gugus fungsi berupa $-\text{COOH}$ dan $-\text{OH}$ yang akan memungkinkan pertukaran kation meningkat.

Ca-tersedia pada lahan penelitian tergolong rendah, yaitu $4,61 \text{ cmol}(+)\text{kg}^{-1}$. Unsur ini berperan dalam pertumbuhan sel khususnya pada titik tumbuh akar. Mg adalah unsur yang bertugas sebagai aktivator dalam transpor energi pada enzim tanaman. Fungsi utamanya pada tanaman adalah untuk mengatur ketersediaan klorofil dalam daun guna proses fotosintesis. Mg-tersedia pada lahan penelitian tergolong rendah, hanya $0,57 \text{ cmol}(+)\text{kg}^{-1}$. Unsur Mg sulit tersedia bagi tanaman. Penelitian Conn *et al.* (2011) menyatakan bahwa konsentrasi Mg yang diekstraksi dalam kapasitas lapangan berada pada kisaran $2,5 \mu\text{M}$ dan $8,5 \mu\text{N}$.

Tekstur tanah merupakan nisbah antara pasir, debu, dan lempung. Hasil analisis tanah awal pada lokasi penelitian menunjukkan tekstur tanah berupa geluhan dengan kadar pasir 57,94%, debu 40,13%,

Tabel 2 Karakteristik tanah Andisol

Parameter	Satuan	Nilai	Harkat*
pH Aktual	-	6,64	Netral
Kadar Lengas	%	19,05	-
C-Organik	%	7,12	Sangat Tinggi
N total	%	0,22	Sedang
P total	%	0,02	Sangat Rendah
K total	%	0,36	Sangat Rendah
P tersedia	ppm	9,79	Sedang
KPK	$\text{cmol}(-)\text{kg}^{-1}$	31,27	Tinggi
K tersedia	$\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$	0,13	Rendah
Ca tersedia	$\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$	4,61	Rendah
Na tersedia	$\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$	0,58	Sedang
Mg tersedia	$\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$	0,57	Rendah
Tekstur			Geluhan
Pasir	%	57,94	
Debu	%	40,13	
Lempung	%	1,92	

Keterangan: *Harkat berdasarkan Balai Penelitian Tanah 2009.

dan lempung 1,92%. Tekstur tanah merupakan sifat fisik tanah yang memengaruhi kesuburan tanah, kemampuan daya serap air, ketersediaan air dalam tanah, serta besarnya aerasi, infiltrasi, dan perkolasi. Tekstur tanah geluhan ialah tanah yang nisbahnya sama antara pasir, debu, dan lempung. Tanah dengan tekstur geluhan inilah yang cocok untuk dijadikan media tanam.

Sifat Kimia Bioarang Bambu

Bioarang merupakan karbon pirogenik yang berasal dari limbah atau residu pertanian yang kaya akan kandungan karbon sehingga memiliki sifat kimia, fisika, dan daya serap yang unik. Materi ini digunakan sebagai bahan pembenah tanah yang dapat memperbaiki sifat tanah dan mendorong pertumbuhan tanaman (Yu *et al.* 2019). Pada penelitian ini, bahan yang digunakan adalah bambu. Bioarang bambu digunakan sebagai bahan pembenah tanah karena memiliki pori yang dapat menyimpan air dan hara untuk memenuhi kebutuhan tanaman. Hasil analisis sifat kimia bioarang bambu ditampilkan pada Tabel 3. pH 10,33 termasuk dalam kategori alkalis. Alkalinitas adalah sifat kimia yang sangat memengaruhi bioarang pada potensinya sebagai kapur sehingga memengaruhi proses tanah seperti mineralisasi N, pertukaran ion, dan emisi gas rumah kaca. Oleh karena itu, bioarang merupakan amelioran yang dapat digunakan untuk meningkatkan dan menyangga pH tanah (Fidel *et al.* 2017). Kadar C-organik hasil analisis adalah 47,53%, dan kadar abu 18,05%. Abu tersebut mengandung berbagai mineral yang tidak dapat menguap dan sulit terbakar. Oleh karena itu, abu ini dapat menyumbat pori bioarang yang menyebabkan porinya mengurang sehingga menurunkan mutunya. Sahoo *et al.* (2021) menyatakan bahwa pirolisis lambat pada bambu dengan suhu 300–700°C akan menghasilkan kadar abu 3,33–4,26%, sedangkan pada suhu 500–600°C menghasilkan kadar abu lebih tinggi, yaitu 54,77–78,47%. KTK adalah 11,19 cmol(+) kg^{-1} , dengan kandungan kation basa, yaitu Ca 19,57 cmol(+) kg^{-1} , Mg 11,28 cmol(+) kg^{-1} , dan K 114,78 cmol(+) kg^{-1} . Struktur pori mikro yang lebih tinggi dibandingkan dengan kayu biasa dapat meningkatkan efisiensi adsorpsi oleh bioarang bambu (Situmeang *et al.* 2018).

Pengaruh Aplikasi Bioarang dan Irigasi pada Sifat Kimia Tanah

• **Kadar lengas**

Kelengasan adalah sifat fisis tanah yang berkaitan dengan kandungan air di dalam pori tanah. Oleh

karena itu, kelengasan penting diketahui karena akan memengaruhi sifat kimia dan biologi tanah pula. Pengaruh dosis bioarang dan irigasi pada kadar lengas tanah dapat dilihat pada Tabel 4, yakni bahwa kedua perlakuan tersebut nyata memengaruhi kelengasan tanah. Semakin tinggi aplikasi bioarang, semakin tinggi kelengasan. Hasil tertinggi terdapat pada perlakuan bioarang 20 ton.ha⁻¹–irigasi 50%, yaitu 58,22%, sedangkan hasil terendah terdapat pada perlakuan kontrol–irigasi 125%. Bioarang dapat dijadikan amelioran karena sifatnya sebagai bahan pembenah tanah yang mampu meningkatkan luas dan porositas tanah, retensi hara, serta kapasitas menyimpan air karena ruang pori yang ada (Brassard *et al.* 2019).

• **pH Tanah**

Reaksi tanah menyatakan sifat kemasaman dan alkalinitas tanah yang ditunjukkan dengan nilai pH. pH dibedakan menjadi pH aktual dan pH potensial. Tabel 5 memperlihatkan pengaruh dosis bioarang bambu dan taraf irigasi pada pH aktual tanah dengan menggunakan H₂O.

Reaksi tanah dipengaruhi oleh ion H⁺ dan Al³⁺ pada larutan tanah, unsur-unsur tanah, konsentrasi ion H⁺ dan OH⁻, mineral tanah, bahan induk tanah, bahan organik tanah, serta air. Nilai pH ditunjukkan oleh konsentrasi ion H⁺ dalam tanah. Ion H⁺ yang semakin tinggi akan mengakibatkan tanah menjadi masam, sedangkan ion OH⁻ yang semakin banyak akan mengakibatkan tanah menjadi basa. Tanah dengan pH tertinggi terdapat pada perlakuan bioarang 20 ton.ha–irigasi 125%, yaitu 6,06, sedangkan tanah dengan pH terendah terdapat pada perlakuan bioarang 0 ton.ha⁻¹–irigasi 100%, yaitu 5,39. Jadi, semakin tinggi dosis bioarang yang diaplikasikan, semakin tinggi pH tanah.

Aplikasi dosis bioarang yang semakin tinggi diiringi dengan peningkatan pH karena terjadinya pelepasan kation basa dan kandungan CaCO₃ dalam bioarang yang lebih tinggi (Chintala *et al.* 2013). Selain itu, peningkatan pH juga disebabkan oleh irigasi 125%

Tabel 3 Karakteristik bioarang bambu

Parameter	Satuan	Bioarang
pH	-	10,33
Kadar Lengas	%	7,06
C-organik	%	47,53
Kadar abu	%	18,05
KTK	cmol(+) kg^{-1}	11,19
Ca	cmol(+) kg^{-1}	19,57
Mg	cmol(+) kg^{-1}	11,28
K	cmol(+) kg^{-1}	114,78

Tabel 4 Pengaruh dosis bioarang bambu dan taraf irigasi pada kadar lengas tanah (%)

Irigasi (%)	Dosis (ton.ha ⁻¹)				Rerata	
	Kontrol	0	10	15		20
50	45,91 ^{bc}	51,04 ^{abc}	50,54 ^{abc}	49,07 ^{abc}	58,22 ^{ab}	50,96
100	58,20 ^{ab}	49,87 ^{abc}	61,09 ^a	56,43 ^{ab}	54,35 ^{ab}	55,99
125	46,39 ^{bc}	39,5 ^c	51,79 ^{abc}	48,79 ^{abc}	50,55 ^{abc}	47,40
Rerata	50,17	46,80	54,47	51,43	54,37	

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak ada beda nyata pada taraf nyata uji Duncan 5%.

yang membuat tanah tergenang. Penggenangan dapat menyebabkan pH tanah meningkat. Penggenangan akan memotong pasokan O₂ pada tanah sehingga pasokan O₂ akan digantikan oleh aktivitas mikroba secara anaerob melalui dekomposisi bahan organik sebagai penerima elektron pada proses respirasi. Dekomposisi bahan organik inilah yang meningkatkan pH tanah dengan dekarboksilasi anion asam organik (Ding *et al.* 2019).

• **C-Organik**

Karbon (C) organik adalah parameter sifat kimia tanah berasal dari komponen bahan organik yang dapat menentukan kesuburan tanah. Tabel 6 menjelaskan pengaruh dosis bioarang bambu dan taraf irigasi pada kandungan C-organik tanah. Aplikasi bioarang dan irigasi menunjukkan perbedaan nyata pada kadar C-organik tanah. Kandungan C-organik tanah tertinggi terdapat pada perlakuan bioarang 20 ton.ha⁻¹-irigasi 100%, yaitu 3,86%, sedangkan yang terendah dijumpai pada perlakuan kontrol-irigasi 125%, yaitu 3,27%. Peningkatan kadar C-organik karena tingginya senyawa organik berupa asam-asam organik yang dapat berperan dalam pelepasan unsur hara. Selain itu, bioarang mengandung gugus aromatik yang rekalsitran sehingga mampu menjaga stabilitas C dalam tanah agar tidak terdekomposisi dalam jangka panjang. Gugus aromatik yang kaya akan lignin ini dipengaruhi oleh bahan baku dan suhu pirolisis (Wang *et al.* 2016).

• **KTK**

KTK tanah menjadi salah satu faktor penentu kesuburan tanah karena berhubungan dengan proses penyerapan hara tanah. Berdasarkan hasil analisis sidik ragam (Tabel 7), aplikasi bioarang dan irigasi menunjukkan perbedaan nyata pada KTK. Tanah dengan KTK tertinggi terdapat pada perlakuan arang 20 ton.ha⁻¹-irigasi 125%, yaitu 21,71 cmol(+)/kg, sedangkan yang terendah ditemukan pada perlakuan kontrol-irigasi 50%, yaitu 14,80 cmol(+)/kg. Dengan demikian, aplikasi bioarang bambu dengan dosis tertinggi dapat meningkatkan KPK tanah. Peningkatan KTK disebabkan oleh banyaknya pori sehingga luas permukaan, muatan permukaan, dan kerapatan permukaan juga tinggi, yang memudahkan penyerapan kation (Zheng *et al.* 2022).

• **N-total**

Nitrogen dibutuhkan tanaman dalam pertumbuhan dan perkembangan semua jaringan hidup sehingga unsur ini paling banyak digunakan dalam peningkatan hasil pertanian. Berdasarkan hasil analisis sidik ragam (Tabel 8), aplikasi bioarang dan irigasi memberikan perbedaan nyata pada kadar N-total tanah. Kadar N-total tertinggi terdapat pada perlakuan bioarang 15 ton.ha⁻¹-irigasi 100%, yaitu 0,30 cmol(+)/kg, sedangkan yang terendah terdapat pada perlakuan 0 ton.ha⁻¹-irigasi 50%, yakni 0,20 cmol(+)/kg. Meningkatnya N-total dari aplikasi bioarang ialah karena bioarang dapat meretensi unsur N agar tidak mudah mengalami

Tabel 5 Pengaruh dosis bioarang bambu dan taraf irigasi pada pH tanah

Irigasi (%)	Dosis (ton.ha ⁻¹)					Rerata
	Kontrol	0	10	15	20	
50	5,90 ^{bcd}	5,83 ^{cde}	5,58 ^f	5,75 ^{de}	5,83 ^{cde}	5,78
100	5,98 ^{abc}	5,39 ^g	5,71 ^{ef}	5,89 ^{bcd}	6,03 ^a	5,80
125	5,98 ^{abc}	5,58 ^f	5,85 ^{cde}	5,93 ^{abc}	6,06 ^a	5,88
Rerata	5,95	5,60	5,71	5,86	5,97	

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak ada beda nyata pada taraf nyata uji Duncan 5%.

Tabel 6 Pengaruh dosis bioarang bambu dan taraf irigasi pada C-organik tanah (%)

Irigasi (%)	Dosis (ton.ha ⁻¹)					Rerata
	Kontrol	0	10	15	20	
50	3,33 ^{ab}	3,62 ^{ab}	3,76 ^{ab}	3,33 ^{ab}	3,43 ^{ab}	3,50
100	3,66 ^{ab}	3,71 ^{ab}	3,71 ^{ab}	3,46 ^{ab}	3,86 ^a	3,68
125	3,27 ^b	3,53 ^{ab}	3,34 ^{ab}	3,75 ^{ab}	3,53 ^{ab}	3,50
Rerata	3,42	3,62	3,60	3,51	3,61	

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak ada beda nyata pada taraf nyata uji Duncan 5%.

Tabel 7 Pengaruh dosis bioarang bambu dan taraf irigasi pada KTK (cmol(+)/kg)

Irigasi (%)	Dosis (ton.ha ⁻¹)					Rerata
	Kontrol	0	10	15	20	
50	14,80 ^c	19,87 ^{ab}	18,73 ^{ab}	20,29 ^{ab}	20,35 ^{ab}	18,81
100	17,12 ^{bc}	20,14 ^{ab}	21,04 ^a	20,88 ^a	20,74 ^a	19,98
125	19,50 ^{ab}	19,87 ^{ab}	20,58 ^a	19,76 ^{ab}	21,71 ^a	20,28
Rerata	17,14	19,96	20,12	20,31	20,93	

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak ada beda nyata pada taraf nyata uji Duncan 5%.

pelindian. Aplikasi bioarang akan mempertahankan NO_3^- dalam tanah, sehingga ion ini sulit terlarut dan dapat dimanfaatkan oleh tanaman. Tanah dengan aplikasi bioarang ini akan mempertahankan nitrat dari pelindian pada area perakaran sehingga dapat meningkatkan efisiensi penyerapan N oleh tanaman (Bachtiar *et al.* 2019).

• P-tersedia

Fosforus (P) merupakan unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman sebagai sumber energi untuk proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman, khususnya untuk pembentukan sel pada akar dan tunas untuk memperkuat batang. Tabel 9 mengindikasikan pengaruh dosis bioarang bambu dan taraf irigasi pada P-tersedia tanah. Aplikasi bioarang dan irigasi menghasilkan perbedaan nyata pada kadar P-tersedia, tertinggi pada perlakuan bioarang 20 ton.ha⁻¹-irigasi 50%, yaitu 7,94 cmol(+)/kg, dan yang terendah pada perlakuan kontrol-irigasi 125%, yang hanya 3,42 cmol(+)/kg. Gugus fungsi pada bioarang yang terjadi akibat pirolisis akan mengadsorpsi Al^{3+} sehingga membebaskan unsur hara P yang terfiksasi dan akan tersedia bagi tanaman. Pada kasus ini, bioarang bertindak sebagai ameliorator kompleksasi P oleh logam (Al^{3+} , Fe^{3+} , dan Ca^{2+}) (Deluca *et al.* 2009). Oleh karena itu, permukaan bioarang mampu menjerap molekul organik (Al^{3+} , Fe^{3+} , Ca^{2+}) pada proses kelasi dan menghilangkan efek kelat sehingga P dapat tersedia pada tanah Andisol.

Tabel 8 Pengaruh dosis bioarang bambu dan taraf irigasi pada nitrogen total (cmol(+)/kg)

Irigasi (%)	Dosis (ton.ha ⁻¹)					Rerata
	Kontrol	0	10	15	20	
50	0,24b	0,20c	0,27ab	0,25b	0,28ab	0,23
100	0,25b	0,26b	0,25b	0,30a	0,27ab	0,27
125	0,25b	0,25b	0,25b	0,24b	0,25b	0,25
Rerata	0,25	0,24	0,26	0,26	0,27	

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak ada beda nyata pada taraf nyata uji Duncan 5%.

Tabel 9 Pengaruh dosis bioarang bambu dan taraf irigasi pada fosfor tersedia (cmol(+)/kg)

Irigasi (%)	Dosis (ton.ha ⁻¹)					Rerata
	Kontrol	0	10	15	20	
50	4,20de	4,09de	5,77bcd	3,88de	7,94a	5,18
100	4,16de	3,45e	7,51ab	5,72bcd	6,64abc	5,50
125	3,42e	3,74de	7,40ab	4,86cde	6,86abc	5,23
Rerata	3,93	3,76	6,89	4,82	7,15	

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak ada beda nyata pada taraf nyata uji Duncan 5%.

Tabel 10 Pengaruh dosis bioarang bambu dan taraf irigasi pada Ca tersedia (cmol(+)/kg)

Irigasi (%)	Dosis (ton.ha ⁻¹)					Rerata
	Kontrol	0	10	15	20	
50	4,28b	4,91ab	4,81ab	4,83ab	5,03a	4,77
100	4,80ab	4,90ab	4,96a	5,15a	5,05a	4,97
125	4,52ab	4,81ab	4,96a	4,80ab	4,75ab	4,77
Rerata	4,53	4,87	4,91	4,93	4,94	

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak ada beda nyata pada taraf nyata uji Duncan 5%.

• Ca-tersedia

Kalsium (Ca) merupakan unsur hara makro esensial sekunder yang berasal dari mineral-mineral dalam tanah. Unsur ini diperlukan untuk penyusunan dinding dan membran sel. Tabel 10 menyarikan pengaruh dosis bioarang bambu dan taraf irigasi pada Ca-tersedia. Aplikasi bioarang dan irigasi memberikan perbedaan nyata dalam hal kandungan Ca-tersedia. Perlakuan bioarang 20 ton.ha⁻¹-irigasi 100% memberikan Ca-tersedia tertinggi (21,71 cmol(+)/kg, sementara yang terendah adalah dari perlakuan kontrol-irigasi 50%, yang hanya 4,28 cmol(+)/kg. Kadar Ca^{2+} pada tanah dengan aplikasi bioarang tidak terikat oleh gaya elektrostatis, tetapi tersedia dalam bentuk garam terlarut sehingga akan lebih mudah diserap oleh tanaman (Glaser *et al.* 2002).

• Mg-tersedia

Magnesium (Mg) merupakan unsur yang keberadaannya didominasi pada daun. Unsur ini berpengaruh dalam penyediaan klorofil sehingga sangat diperlukan dalam proses fotosintesis. Tabel 11 menyatakan pengaruh dosis bioarang bambu dan taraf irigasi pada Mg-tersedia. Aplikasi bioarang dan irigasi juga memperlihatkan perbedaan nyata pada kandungan Mg-tersedia; yang tertinggi pada perlakuan bioarang 20 ton.ha⁻¹-irigasi 50% (1 cmol(+)/kg), sedangkan yang terendah pada perlakuan 0 ton.ha⁻¹-irigasi 125% (0,86 cmol(+)/kg. Peningkatan Mg pada

tanah disebabkan oleh struktur berpori yang banyak jumlahnya sehingga memungkinkan mikroorganismenya bertambah. Mikroorganismenya dapat menggunakan Mg sebagai sumber energi sehingga Mg tanah dapat meningkat seiring peningkatan mikroorganismenya. Kadar Mg^{2+} pada tanah dengan aplikasi bioarang juga tidak terikat oleh gaya elektrostatis, tetapi dapat tersedia dalam bentuk garam terlarut sehingga akan mudah diserap oleh tanaman (Glaser *et al.* 2002).

Pengaruh Aplikasi Bioarang dan Irigasi pada Pertumbuhan Tanaman

• **Tinggi tanaman kedelai (cm)**

Fase vegetatif tanaman dapat dinilai dari berbagai parameter, salah satunya ialah tinggi tanaman. Tinggi tanaman adalah kenampakan visual pada pertumbuhan batangnya selama pertumbuhan. Tinggi tanaman diukur setiap pekan, diukur dari permukaan tanah hingga ujung daun terpanjang (Gambar 1). Bioarang sebagai pembenah tanah berpengaruh positif pada tinggi tanaman akibat sifat *porous* yang dapat menyerap air dan unsur hara menjadi lebih optimum. Selain itu, pemberian air irigasi juga memengaruhi tinggi tanaman. Penyerapan air dan unsur hara berperan penting dalam menunjang pertumbuhan tanaman. Tinggi tanaman sangat bergantung pada keberadaan air. Tanaman yang kekurangan air umumnya lebih pendek daripada tanaman yang cukup air. Pada masa perkecambahannya tanaman kedelai

sangat sensitif pada cekaman kekeringan (Liao *et al.* 2022).

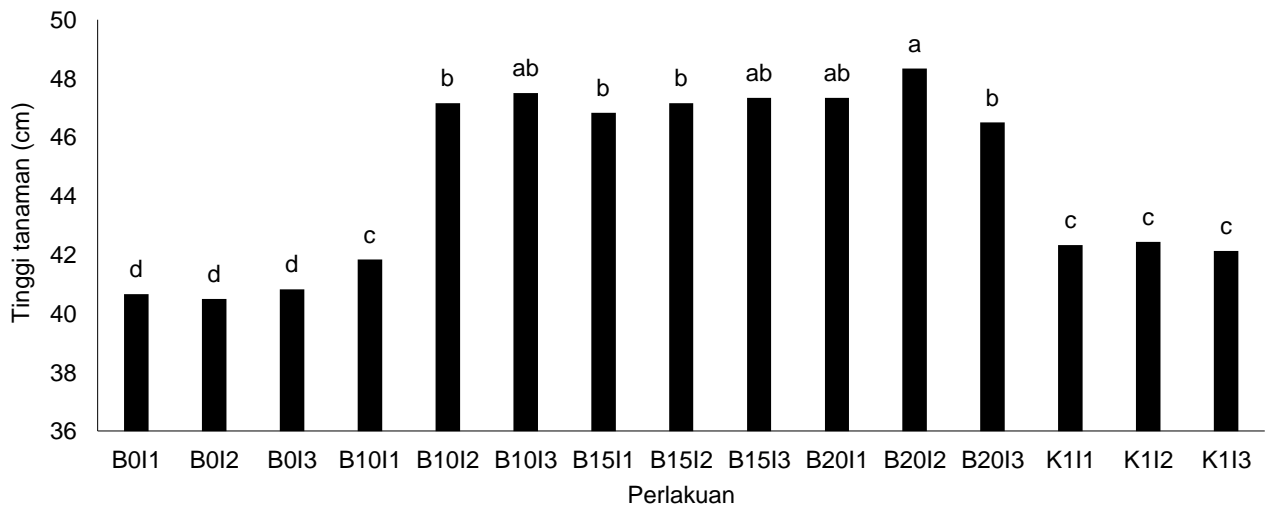
• **Bobot segar akar, tajuk, dan polong (g)**

Bobot segar tanaman mengindikasikan akumulasi fotosintat dalam tanaman yang menggambarkan kandungan air di dalam jaringan tanaman. Kandungan air adalah faktor yang paling utama dalam meningkatkan nilai bobot segar. Air berperan dalam turgiditas sel sehingga sel-sel tanaman akan membesar. Pengaruh bioarang dan irigasi pada bobot segar akar, tajuk, dan polong tanaman kedelai berturut-turut dapat dilihat pada Gambar 2, 3, dan 4.. Bobot segar adalah parameter untuk memperkirakan total hasil biomassa tanaman yang memengaruhi perkembangan morfologi, kualitas, dan kuantitas tanaman (Asekova *et al.* 2016). Pertumbuhan dan perkembangan tanaman terdiri atas fase generatif dan vegetatif. Energi tersebut dapat diperoleh dari unsur hara, air, suhu, serta cahaya matahari. Suhu dapat menentukan tingkat adsorpsi unsur mineral dan air oleh akar tanaman. Suhu yang tinggi mengakibatkan pertumbuhan terhambat yang akan meningkatkan respirasi sehingga pertumbuhan menjadi terhambat. Energi tersebut juga digunakan dalam proses fotosintesis. Proses fotosintesis yang berlangsung baik menyebabkan penimbunan asimilat yang semakin banyak yang dapat memengaruhi peningkatan bobot segar tanaman.

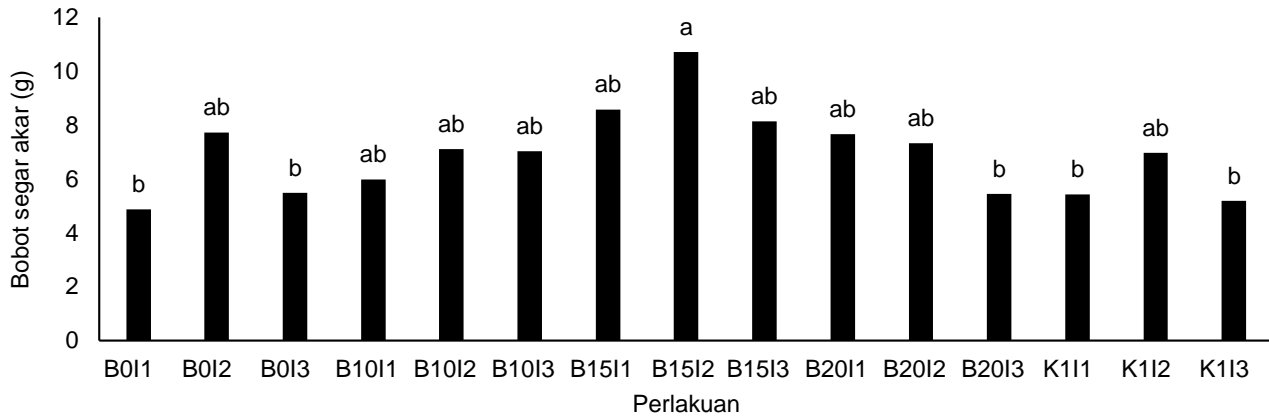
Tabel 11 Pengaruh dosis bioarang bambu dan taraf irigasi pada Mg tersedia (cmol(+)/kg)

Irigasi (%)	Dosis (ton.ha ⁻¹)					Rerata
	Kontrol	0	10	15	20	
50	0,88cd	0,92abcd	0,90bcd	0,96abc	1,00a	0,93
100	0,95abcd	0,98ab	0,98ab	0,96abc	0,95abcd	0,96
125	0,88cd	0,86d	0,91abcd	0,91abcd	0,93abcd	0,90
Rerata	0,90	0,92	0,93	0,94	0,96	

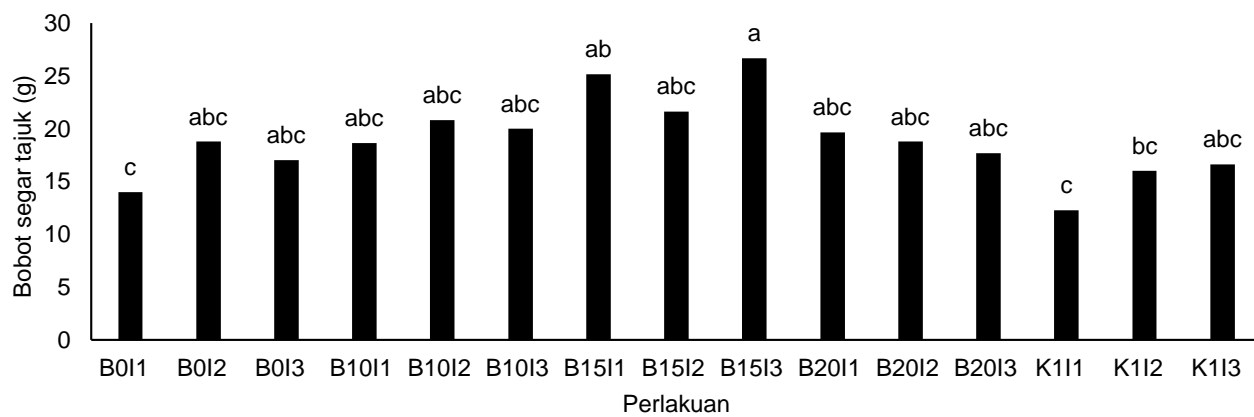
Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak ada beda nyata pada taraf nyata uji Duncan 5%.



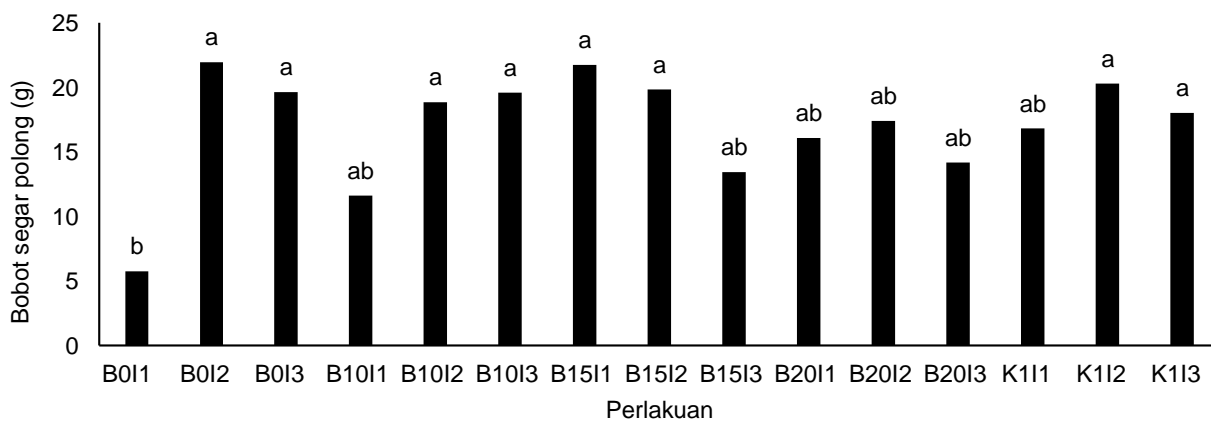
Gambar 1 Pengaruh bioarang dan irigasi pada tinggi tanaman kedelai. Dosis 0 = B0, B10, B15, B20; Irigasi 50 = 0, 10, 15, 20 ton.ha⁻¹. I₁, I₂, I₃; dan Kontrol = 100, 125%.



Gambar 2 Pengaruh bioarang dan irigasi pada bobot segar akar tanaman kedelai. Dosis 0 = B0, B10, B15, B20; Irigasi 50 = 0, 10, 15, 20 ton.ha⁻¹. I₁, I₂, I₃; dan Kontrol = 100, 125%.



Gambar 3 Pengaruh bioarang dan irigasi pada bobot segar tajuk tanaman kedelai. Dosis 0 = B0, B10, B15, B20; Irigasi 50 = 0, 10, 15, 20 ton.ha⁻¹. I₁, I₂, I₃; dan Kontrol = 100, 125%.



Gambar 4 Pengaruh bioarang dan irigasi pada bobot segar polong tanaman kedelai. Dosis 0 = B0, B10, B15, B20; Irigasi 50 = 0, 10, 15, 20 ton.ha⁻¹. I₁, I₂, I₃; dan Kontrol = 100, 125%.

Berdasarkan Gambar 2, bobot segar akar tertinggi terdapat pada perlakuan bioarang 15 ton.ha⁻¹-irigasi 100%, sedangkan terendah pada perlakuan bioarang 0 ton.ha⁻¹-irigasi 50%. Pada Gambar 3, bobot segar tajuk tertinggi terdapat pada perlakuan bioarang 15 ton.ha⁻¹-irigasi 125%, sedangkan yang terendah ditemukan pada perlakuan Kontrol 111-irigasi 50%.

Bobot segar polong tertinggi terdapat pada perlakuan bioarang 0 ton.ha⁻¹-irigasi 100%, dan terendah pada perlakuan bioarang 0 ton.ha⁻¹-irigasi 50% (Gambar 4).

• **Bobot kering akar, tajuk, dan polong (g)**

Bobot kering tanaman merupakan salah satu parameter yang dapat digunakan dalam menggam-

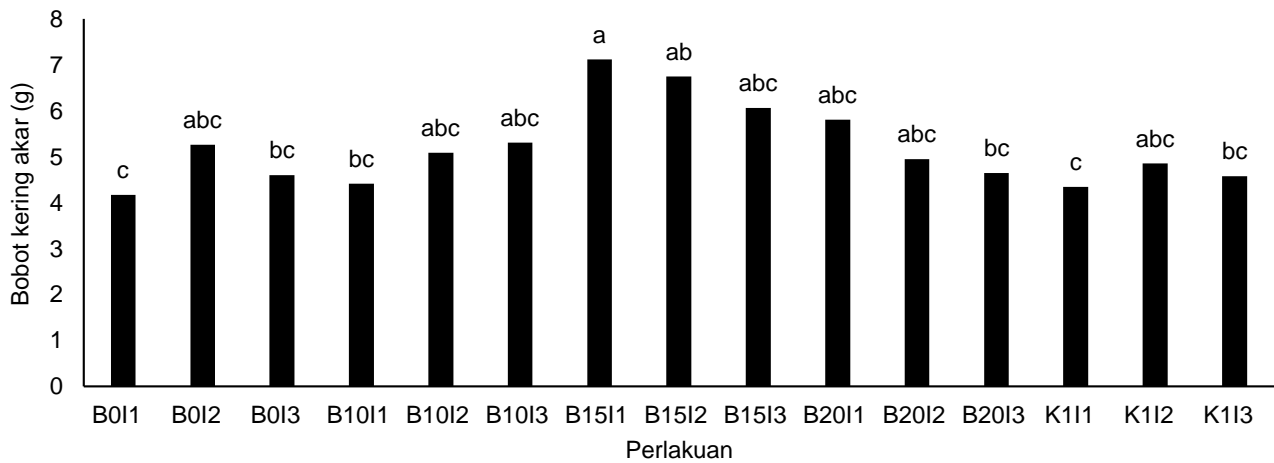
barkan besar kecilnya fotosintesis tanaman. Ini menjadi parameter yang dapat digunakan untuk menilai efisiensi penyerapan dan pemanfaatan radiasi matahari yang tersedia pada fase vegetatif tanaman oleh tajuk. Parameter ini menunjukkan akumulasi senyawa organik yang dapat disintesis oleh tanaman, status hara tanaman tersebut, serta menjadi indikator baik atau tidaknya pertumbuhan tanaman yang berkaitan dengan ketersediaan unsur hara. Pengaruh bioarang dan irigasi pada bobot kering akar, tajuk, dan polong tanaman kedelai dapat dilihat pada Gambar 5, 6, dan 7. Bobot kering tanaman dipengaruhi oleh respirasi dan laju fotosintesis serta unsur hara yang diserap oleh tanaman. Selain itu, irigasi sangat memengaruhi kandungan bobot kering. Bobot kering meningkat seiring dengan dosis bioarang. Kandungan air yang tinggi pada tanaman memiliki nilai bobot kering yang lebih rendah karena akumulasi karbohidrat seperti sukrosa dan gula alkohol lebih besar pada kondisi cekaman kekeringan (Ma *et al.* 2019).

Berdasarkan Gambar 5, bobot kering akar tertinggi terdapat pada perlakuan bioarang 15 ton.ha⁻¹-irigasi

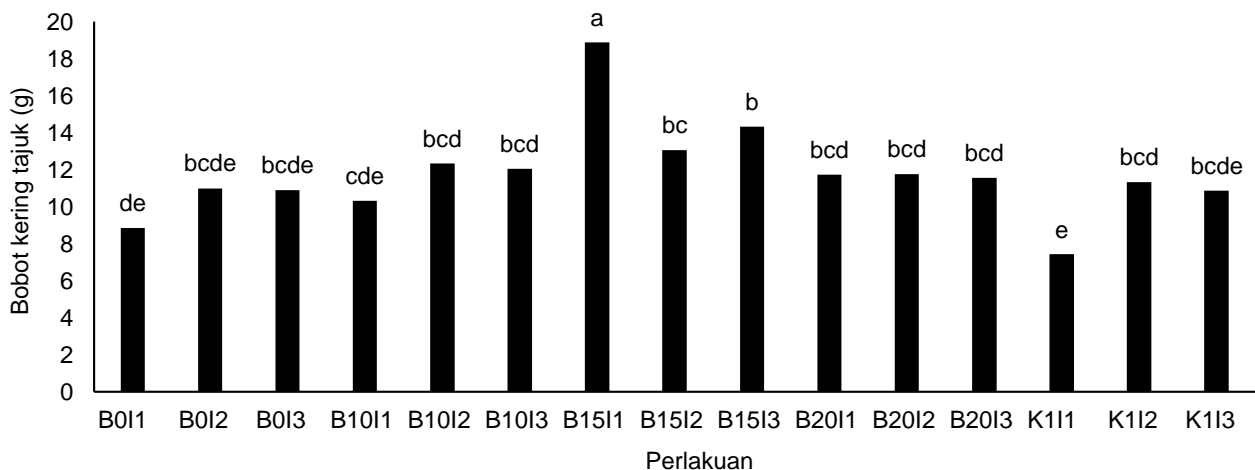
100%, sedangkan yang terendah dijumpai pada perlakuan bioarang 0 ton.ha⁻¹-irigasi 50%. Pada Gambar 6, bobot kering tajuk tertinggi terdapat pada perlakuan bioarang 15 ton.ha⁻¹-irigasi 100%, sedangkan yang terendah pada perlakuan kontrol 1-irigasi 50%. Bobot kering polong tertinggi terdapat pada perlakuan bioarang 15 ton.ha⁻¹-irigasi 100%, dan terendah pada perlakuan bioarang 0 ton.ha⁻¹-irigasi 50% (Gambar 7).

• **Produktivitas tanaman kedelai**

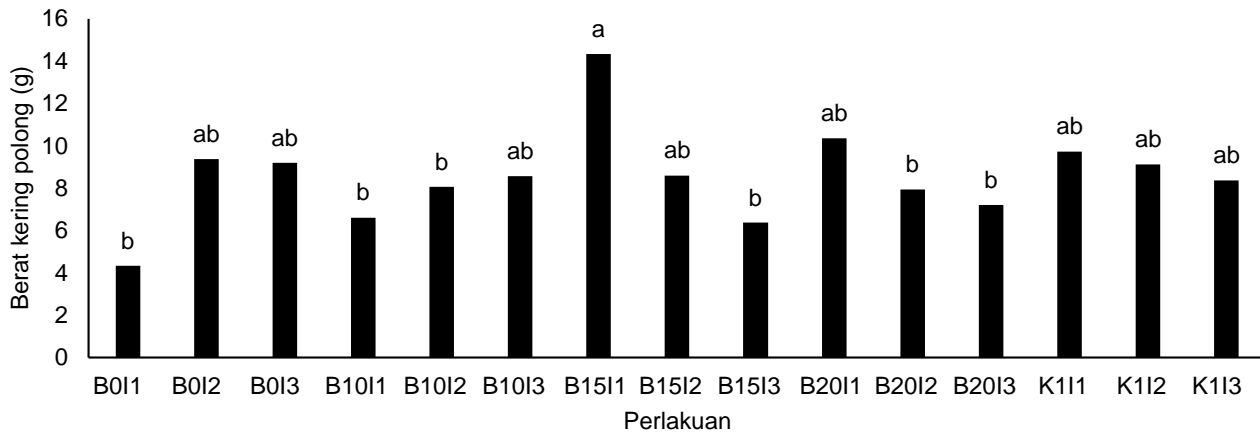
Pertumbuhan pada fase vegetatif tanaman sangat berkait erat dengan hasil produksi yang didapatkan dari fase generatif tanaman. Produktivitas yang tinggi diakibatkan oleh hasil fotosintesis yang baik yang berhubungan dengan pengisian polong tanaman kedelai. Gambar 8 menjelaskan pengaruh bioarang dan irigasi pada produktivitas (ton.ha⁻¹). Produktivitas tertinggi terdapat pada perlakuan bioarang 20 ton.ha⁻¹-irigasi 100%, sedangkan yang terendah pada perlakuan bioarang 0 ton.ha⁻¹-irigasi 50%. Produktivitas



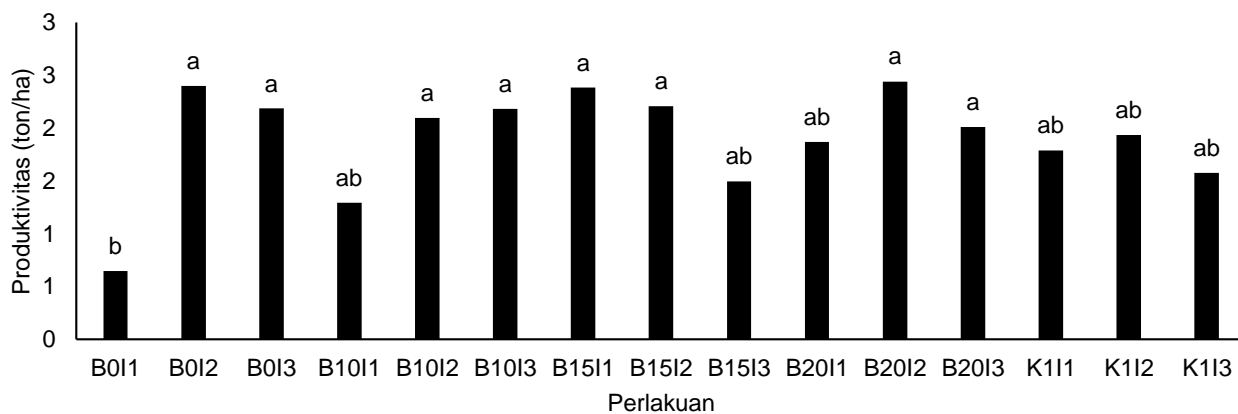
Gambar 5 Pengaruh bioarang dan irigasi pada bobot kering akar tanaman kedelai. Dosis 0 = B0, B10, B15, B20; Irigasi 50 = 0, 10, 15, 20 ton.ha⁻¹. I₁, I₂, I₃; dan Kontrol = 100, 125%.



Gambar 6 Pengaruh bioarang dan irigasi pada bobot kering tajuk tanaman kedelai. Dosis 0 = B0, B10, B15, B20; Irigasi 50 = 0, 10, 15, 20 ton.ha⁻¹. I₁, I₂, I₃; dan Kontrol = 100, 125%.



Gambar 7 Grafik pengaruh biochar dan irigasi terhadap berat kering polong tanaman kedelai. Dosis 0 = B0, B10, B15, B20; Irigasi 50 = 0, 10, 15, 20 ton.ha⁻¹. I₁, I₂, I₃; dan Kontrol = 100, 125%.



Gambar 8 Grafik pengaruh biochar dan irigasi terhadap produktivitas tanaman kedelai (ton.ha⁻¹). Dosis 0 = B0, B10, B15, B20; Irigasi 50 = 0, 10, 15, 20 ton.ha⁻¹. I₁, I₂, I₃; dan Kontrol = 100, 125%.

tanaman dipengaruhi oleh faktor internal dan eksternal pada tanaman seperti fotosintesis. Proses fotosintesis menentukan banyaknya karbon dan fotosintat yang dialokasikan ke dalam bentuk karbohidrat, protein, dan minyak. Faktor eksternal yang memengaruhi adalah iklim, suhu, cahaya matahari, air, dan unsur hara. Perubahan iklim yang terlalu drastis, suhu yang ekstrem, intensitas cahaya matahari, dan ketersediaan air sangat memengaruhi produktivitas tanaman kedelai. Air dan unsur hara dapat diikat dengan lebih baik dengan mengaplikasikan bahan pembenah tanah seperti bioarang. Bioarang dapat menaikkan pH tanah, bahan organik, regulasi air, kestabilan agregat tanah, dan berpengaruh positif dalam produktivitas lahan (Latawiec *et al.* 2021).

KESIMPULAN

Interaksi pemberian dosis bioarang yang berbeda serta pemberian volume air yang berbeda berpengaruh nyata pada sifat kimia tanah, yakni pH, bahan organik, N-total, P-tersedia, P-total, KTK, Ca, Mg, K, dan Na,

serta ketersediaan P pada parameter pertumbuhan tanaman. Produktivitas tertinggi akibat aplikasi bioarang dan pemberian air yang tepat pada budi daya kedelai dapat meningkatkan produktivitas kedelai.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Direktorat Penelitian Universitas Gadjah Mada yang telah memberikan fasilitas melalui skema Peningkatan Kapasitas Penelitian Dosen Muda tahun 2022.

DAFTAR PUSTAKA

Arabi Z, Eghtedaey H, B. Gharehchmaghloo dan A. Faraji. 2018. Effects of biochar and bio-fertilizer on yield and qualitative properties of soybean and some chemical properties of soil. *Geosciences*. 672: 1–9. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-4041-1>

- Asekova S, Kulkarni KP, Patil G, Kim M, Song JT, Nguyen HT, Grover SJ, Lee JD. 2016. Genetic analysis of shoot fresh weight in a cross of wild (*G. soja*) and cultivated (*G. max*) soybean. *Molecular Breeding*. 36(7): 1–15. <https://doi.org/10.1007/s11032-016-0530-7>
- Bachtiar T, Anas I, Sutandi A, Ishak I. 2019. Perbaikan kualitas bahan pembawa rhizobium dan fungsi pelarut fosfat melalui sterilisasi sinar gamma Co-60 dan pengaruhnya terhadap pertumbuhan dan produksi kedelai (*Glycine max* L.). *Ganendra Majalah Iptek Nuklir*. 22(1): 11–23. <https://doi.org/10.17146/gnd.2019.22.1.4405>
- Brassard P, Godbout S, Lévesque V, Palacios JH, Raghavan V, Ahmed A, Hogue R, Jeanne T, Verma M. 2019. Biochar for soil amendment. *Char and Carbon Materials Derived from Biomass*. 109–146. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814893-8.00004-3>
- Chintala R, Mollinedo J, Schumacher TE, Malo DD, Julson JL. 2013. Effect of biochar on chemical properties of acidic soil. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 60(3): 393–404. <https://doi.org/10.1080/03650340.2013.789870>
- Chu S, Li H, Zhang X, Yu K, Chao M, Han S, Zhang D. 2018. Physiological and proteomics analyses reveal low-phosphorus stress affected the regulation of photosynthesis in soybean. *International Journal of Molecular Sciences*. 19: 1–16. <https://doi.org/10.3390/ijms19061688>
- Conn SJ, Conn V, Tyerman SD, Kaiser BN, Leigh RA, Gilliam M. 2011. Magnesium transporters, MGT2/MRS2-1 and MGT3/MRS2-5, are important for magnesium partitioning within *Arabidopsis thaliana* mesophyll vacuoles. *New Phytologist*. 190: 583–594. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03619.x>
- Deluca TH, MacKenzie MD, Gundale MJ. 2009. Biochar Effects on Soil Nutrient Transformation. *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. 251–265.
- Fidel RB, Laird DA, Thompson ML, Lawrinenko M. 2017. Characterization and quantification of biochar alkalinity. *Chemosphere*. 167: 367–373. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.09.151>
- Glaser B, Lehmann J, Zech W. 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal: A review. *Biology and Fertility of Soils*. 35: 219–230. <https://doi.org/10.1007/s00374-002-0466-4>
- Hossain MZ, Bahar MM, Sarkar B, Donne SW, Palansooriya YS, Kirkham KN, Chowdhury MB, Bolan SN. 2020. Biochar and its importance on nutrient dynamics in soil and plant. *Biochar*. 2(4): 379–420. <https://doi.org/10.1007/s42773-020-00065-z>
- Jumarni J, Widjajanto D, Hasanah U. 2021. Perubahan kemantapan agregat dan natrium dapat tertukar sebagai akibat pemberian pupuk kandang kambing pada tanah sodik sidondo lembah palu. *Agrotekbis: E-Jurnal Ilmu Pertanian*. 9(1): 233–239.
- Latawiec AE, Koryś A, Koryś KA, Kuboń M, Sadowska U, Gliński M, Sikora J, Drosik A, Niemięć M, Klimek-Kopyra A, Sporysz M. 2021. Economic analysis of biochar use in soybean production in Poland. *Agronomy*. 11(11): 2108. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112108>
- Leng L, Yuan X, Huang H, Shao J, Wanga H, Chen X, Zeng G. 2015. Biochar derived from sewage sludge by liquefaction: characterization and application for dye adsorption. *Applied Surface Science*. 346: 223–231. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.04.014>
- Liao Z, Zeng H, Fan J, Lai Z, Zhang C, Zhang F, Wang H, Cheng M, Guo J, Li Z, Wu P. 2022. Effects of plant density, nitrogen rate and supplemental irrigation on photosynthesis, root growth, seed yield and water-nitrogen use efficiency of soybean under ridge-furrow plastic mulching. *Agricultural Water Management*. 268: 107688. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107688>
- Ma H, Egamberdieva D, Wirth S, Li Q, Omari RA, Hou M, Bellingrath-Kimura SD. 2019. Effect of biochar and irrigation on the interrelationships among soybean growth, root nodulation, plant P uptake, and soil nutrients in a sandy field. *Sustainability*. 11(23): 6542. <https://doi.org/10.3390/su11236542>
- Minardi S, Winarno J, Abdillah AHN. 2013. Efek perimbangan pupuk organik dan pupuk anorganik terhadap sifat kimia tanah andisol tawangmangu dan hasil tanaman wortel (*Daucus carota* L.). *Sains Tanah-Journal of Soil Science and Agroclimatology*. 6(2): 111–116.
- Nugraha YS, Sumarni T, Sulistyono R. 2014. The Influence of Interval Time and The Level Provision of Water to The Growth and Yield of Soybean (*Glycine max* (L) Merril). *Jurnal Produksi Tanaman*. 2(7): 552–559.
- Permadi K. 2014. Implementasi Pupuk N, P, dan K untuk Mendukung Swasembada Kedelai. *Sumber*. 554: 1–457
- Sahoo SS, Vijay VK, Chandra R, Kumar H. 2021. Production and characterization of biochar produced from slow pyrolysis of pigeon pea stalk and bamboo. *Cleaner Engineering and Technology*. 3: 100101. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100101>

- Situmeang YP, Adnyana IM, Subadiyasa INN, Merit IN. 2018. Effectiveness of Bamboo Biochar combined with compost and NPK fertilizer to improved soil quality and corn yield. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*. 8(5): 2241–2248. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.8.5.2179>
- Sukmawati St. 2011. Jerapan P Pada Andisol Yang Berkembang Dari Tuff Vulkan Beberapa Gunung Api Di Jawa Tengah Dengan Pemberian Asam Humat dan Asam Silikat. *Media Litbang Sulteng*. IV(1): 30–36.
- Takeda M, Nakamoto T, Miyazawa K, Murayama T, Okada H. 2009. Phosphorus availability and soil biological activity in an Andosol under compost application and winter cover cropping. *Applied Soil Ecology*. 42(2): 86–95. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2009.02.003>
- Wang J, Xiong Z, Kuzyakov Y. 2016. Biochar stability in soil: meta-analysis of decomposition and priming effects. *Gcb Bioenergy*. 8(3): 512–523. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12266>
- Yu H, Zou W, Chen J, Chen H, Yu Z, Huang J, Tang H, Wei X, Gao B. 2019. Biochar amendment improves crop production in problem soils: A review. *Journal of environmental management*. 232: 8–21. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.117>
- Zhang M, Riaz M, Liu B, Xia H, El-Desouki Z, Jiang C. 2020. Two-year study of biochar: Achieving excellent capability of potassium supply via alter clay mineral composition and potassium-dissolving bacteria activity. *Science of The Total Environment*. 717: 137286. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137286>
- Zheng X, Xu W, Dong J, Yang T, Shangguan Z, Qu J, Li X, Tan X. 2022. The effects of biochar and its applications in the microbial remediation of contaminated soil: A review. *Journal of Hazardous Materials*. 129557. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129557>
- Zieger A, Kaiser K, Ríos Guayasamín P, Kaupenjohann M. 2018. Massive carbon addition to an organic-rich Andosol increased the subsoil but not the topsoil carbon stock. *Biogeosciences*. 15: 2743–2760. <https://doi.org/10.5194/bg-15-2743-2018>