

## Pengaruh Aplikasi *Biochar* Jerami Padi dan *Rhizobium* terhadap Pertumbuhan dan Hasil Kedelai Hitam

### *Effect of Rice Straw Biochar and Rhizobium Application on the Growth and Yield of Black Soybean*

Helen Puspa Juliasari\*, Titiek Islami, Anna Satyana Karyawati

Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Universitas Brawijaya, Malang, East Java 65145, Indonesia

Received August 28, 2024; Accepted October 13, 2024

#### ABSTRACT

Black soybeans in Indonesia have high economic value due to their potential for processing into various products and their health benefits. The high utilization of black soybean is supported by its rich nutritional content, particularly the protein levels in its seeds. There is a gap between the demand for and availability of black soybeans in Indonesia. Effective measures are needed to increase black soybean yields. One approach is to enhance the efficiency of organic fertilizer use by applying rice straw *biochar* as a soil amendment and *Rhizobium* as a biofertilizer to improve the growth and yield of black soybeans. This study was conducted using a two-factor experimental design with doses of rice straw *biochar* (0, 10, and 15 t.ha<sup>-1</sup>) and doses of *Rhizobium* (0, 5, 10, and 15 g.kg<sup>-1</sup> seed). An interaction was observed between the application of 10 t.ha<sup>-1</sup> of *biochar* and 5 g.kg<sup>-1</sup> of *Rhizobium*, which significantly affected the yield of black soybean, including the number of filled pods per plant, seed weight per plant, harvest yield per hectare, and total seed protein content.

**Keywords:** *Glycine max*; Organic fertilizer; Soil amendment; Harvest yield; Protein content

**Cite this as (CSE Style):** Juliasari HP, Islami T, Karyawati AS. 2024. Pengaruh aplikasi *Biochar* jerami padi dan *Rhizobium* terhadap pertumbuhan dan hasil kedelai hitam. *Agrotechnology Res J.* 8(2):130–138. <https://dx.doi.org/10.20961/agrotechresj.v8i2.92796>.

#### PENDAHULUAN

Kedelai hitam menjadi salah satu komoditas yang berpotensi besar untuk dikembangkan di Indonesia. Kedelai hitam banyak dibutuhkan karena memiliki nilai ekonomis dan bermanfaat untuk kesehatan seperti anti-kanker, anti-diabetes, dan penangkal radikal bebas. Triandita and Putri (2019) menjelaskan bahwa kedelai hitam merupakan jenis kedelai yang kaya akan gizi karena mengandung protein yang tinggi dan antioksidan seperti antosianin, dan isoflavon yang melebihi kedelai kuning. Ketidakseimbangan antara produksi dan kebutuhan nasional kedelai hitam menyebabkan pemenuhannya bergantung pada impor. Hal ini terlihat dari angka kebutuhan kedelai hitam yang mencapai 2000 ton per tahun, sedangkan dalam negeri hanya mampu mencukupi 30% dari kebutuhan nasional (Risnawati dan Yusuf 2019; Setyawan dan Huda 2022). Akibat dari kendala tersebut banyak petani yang meningkatkan produksi dengan mengaplikasikan pupuk anorganik secara berlebihan.

Penggunaan pupuk anorganik atau kimia memiliki keunggulan dapat mempercepat produksi tanaman, namun terdapat beberapa dampak negatif yang timbul akibat penggunaannya dalam jumlah besar yaitu adanya penurunan produktivitas, kandungan bahan organik tanah, populasi mikroba tanah, hingga inefisiensi pemupukan karena tanah tidak mampu mengikat hara secara lengkap (Herdiyantoro dan Setiawan 2015). Penggunaan teknologi yang tepat sangat diperlukan dalam menyuplai kebutuhan hara yang seimbang agar pertumbuhan dan hasil kedelai hitam dapat optimum dan tidak ada dampak negatif terhadap lingkungan dan menekan penggunaan pupuk kimia yang berlebihan. Upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan pengaplikasian *biochar* dan *Rhizobium*.

*Biochar* merupakan suatu bahan dengan kandungan karbon tinggi yang dihasilkan oleh pembakaran tanpa oksigen dari berbagai limbah organik, termasuk dari biomassa pertanian (Nurida et al. 2015). Sebagai pembenah tanah, *biochar* mampu memperbaiki sifat fisik, biologi, dan kimia tanah karena dapat meningkatkan agregasi tanah, kapasitas tukar kation (KTK) tanah, struktur tanah, dan mengubah komposisi tanah dengan membuat kualitas material dalam tanah menjadi lebih baik (Santi dan Goenadi 2010; Nurida

\*Corresponding Author:  
E-Mail: [puspahelen3@gmail.com](mailto:puspahelen3@gmail.com)

2014; Mateus et al. 2017). Dibandingkan penggunaan bahan pembenah tanah alami lain seperti bahan organik yang mudah terdekomposisi, penggunaan *biochar* jauh lebih efisien karena lebih resistan terdapat pelapukan (Mateus et al. 2017). Sebab implikasi dari penggunaan *biochar* adalah bertahan dalam waktu yang lama dan memiliki efek yang relatif lama dalam tanah. Jenis *biochar* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *biochar* jerami padi. *Biochar* jerami padi mempunyai keunggulan lain dibandingkan *biochar* jenis lainnya karena memiliki nilai KTK, C-Organik, dan rasio C/N yang tinggi (Surianti et al. 2021). Dengan kandungan pada *biochar* tersebut diharapkan dapat memperbaiki kualitas tanah dan pertumbuhan tanaman kedelai hitam.

Aplikasi *Rhizobium* yang pada penelitian ini menggunakan *legin* (*legume inoculum*) inokulan *Rhizobium*. *Rhizobium* merupakan bakteri yang hidup bersimbiosis dengan akar tanaman legum. Peran utama *Rhizobium* adalah membantu tanaman legum dalam menambat  $N_2$  di udara agar menjadi bentuk yang mampu diserap oleh tanaman, serta penggunaannya dapat ditujukan untuk menekan penggunaan pupuk kimia berlebihan agar kesehatan tanah tetap terjaga (Prasetyani et al. 2021). Pemberian *Rhizobium* pada tanaman kedelai diharapkan dapat memberikan pengaruh nyata pada fiksasi  $N_2$ , berat kering akar, jumlah bintil akar, dan pertumbuhan tanaman. Tujuan dari penelitian ini untuk mempelajari respons pertumbuhan dan hasil panen termasuk kandungan protein biji kedelai hitam akibat aplikasi perbedaan dosis *biochar* jerami padi dan dosis *Rhizobium*.

## BAHAN DAN METODE

Pelaksanaan penelitian dimulai pada bulan November 2023 hingga Januari 2024 yang bertempat di lahan Jatimulyo Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Kota Malang, Provinsi Jawa Timur, Indonesia. Kondisi tanah pada lahan Jatimulyo tidak cukup baik dalam syarat budidaya tanaman kedelai hitam karena memiliki kandungan pH asam, dan bahan organik yang rendah sehingga tingkat retensi haranya cukup rendah. Adanya penambahan *biochar* jerami padi pada tanah tersebut dapat meningkatkan kandungan bahan organik termasuk memperbaiki pH tanah menjadi lebih basa. Zhan et al. (2021) menambahkan terdapat beberapa kandungan pada *biochar* jerami padi yang menunjukkan bahwa penggunaan jerami padi sebagai bahan *biochar* sangat efektif untuk meningkatkan ketersediaan hara yaitu memiliki nilai C-organik (42,90%) dan rasio C/N yang tinggi (71,5). Pengukuran kadar protein total pada biji dilakukan di Laboratorium Terpadu Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya menggunakan metode Kjeldahl.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi *polybag*, alat tulis, peralatan pertanian, meteran, cangkul, alat bajak, gembor, tugal, label, amplop oven, timbangan digital, *alvaboard*, LAM (*Leaf Area Meter*), dan unit *pyrolysis* untuk pembuatan *biochar*. Bahan yang digunakan berupa benih kedelai hitam varietas Detam 1, *biochar* jerami padi, inokulum *Rhizobium* berupa *legin* dari Laboratorium Mikrobiologi UGM, dan pupuk SP36, Urea, dan KCl.

Penelitian ini merupakan percobaan faktorial yang menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan total perlakuan 12 unit kombinasi perlakuan yang dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali sehingga total perlakuan seluruhnya adalah 36 unit. Faktor pertama pada penelitian ini adalah dosis *biochar* jerami padi yang terdiri dari tiga taraf meliputi : B0 = Tanpa *Biochar* Jerami Padi; B = *Biochar* Jerami Padi 10 t.ha<sup>-1</sup>; dan B1 = *Biochar* Jerami Padi 15 t ha<sup>-1</sup>. Faktor kedua dalam penelitian ini merupakan dosis *biofertilizer* yang menggunakan *legin* inokulan *Rhizobium* dengan empat taraf yaitu : R0 = Tanpa *Rhizobium*; R1 = *Rhizobium* 5 g kg<sup>-1</sup> benih; R2 = *Rhizobium* 10 g kg<sup>-1</sup> benih; dan R3 = *Rhizobium* 15 g kg<sup>-1</sup> benih. Tahapan penelitian ini meliputi persiapan bahan dan pembuatan *biochar* jerami padi, persiapan lahan dan pengaplikasian *biochar*, pengaplikasian *Rhizobium* dan penanaman kedelai, perawatan, pemanenan, pengujian kadar protein biji.

Pengamatan dilakukan dalam 2 tahap yaitu pengamatan pertumbuhan dan hasil. Pengamatan variabel pertumbuhan yang diamati meliputi tinggi tanaman, jumlah daun, jumlah bintil akar efektif, dan laju pertumbuhan tanaman. Pengamatan pada variabel hasil dilakukan setelah panen. Beberapa variabel hasil yang diamati meliputi jumlah polong isi per tanaman, bobot biji per tanaman, hasil panen per hektar, dan kadar protein biji kedelai hitam. Analisis data menggunakan ragam analisis ragam ANOVA dengan (uji *F*) taraf 5%. Apabila terdapat pengaruh nyata, maka akan dilakukan uji lanjut menggunakan uji lanjut BNJ.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Tinggi tanaman

Adanya penambahan *biochar* jerami padi dan *Rhizobium* memberikan pengaruh yang berbeda pada setiap perbedaan dosis yang diaplikasikan. Pada variabel tinggi tanaman, secara terpisah perlakuan *biochar* jerami padi dengan dosis 10 t ha<sup>-1</sup> memiliki rerata tinggi tanaman yang lebih besar dibandingkan perlakuan dosis *biochar* 15 t ha<sup>-1</sup> dan perlakuan non-*biochar* (Tabel 1). Hal ini dapat dikarenakan penggunaan *biochar* berfungsi sebagai pembenah tanah telah berhasil memperbaiki kesuburan tanah untuk menjadi lebih baik. Sejalan dengan Khambalkar et al. (2021) bahwa C-organik merupakan indikator kesehatan tanah yang memiliki sifat sangat reaktif dalam berbagai proses pembentukan tanah. Komponen C-organik merupakan komponen penting dalam tanah yang memiliki kemampuan dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman baik sebagai pemicu ketersediaan unsur hara melalui mineralisasi maupun sebagai sumber energi untuk mikroorganisme tanah. Oleh karenanya dapat dikatakan bahwa kandungan C-organik yang tinggi pada *biochar* jerami padi dapat memperbaiki kesehatan tanah melalui aktivitas mikroorganisme yang tidak terganggu dan ketersediaan hara yang terjaga sehingga tanaman dapat tumbuh dan berkembang dengan baik.

Pemberian *Rhizobium* pada tanaman kedelai hitam memiliki peran penting dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman termasuk pada variabel tinggi tanaman. Hal ini dikarenakan *Rhizobium* adalah mikroba tanah yang berperan penting dalam menambat  $N_2$  bebas di udara untuk diubah menjadi bentuk yang dapat

diserap oleh tanaman melalui proses fiksasi nitrogen (Prasetyani et al. 2021). Nitrogen merupakan unsur hara yang berperan penting dalam merangsang pertumbuhan vegetatif tanaman seperti pertumbuhan dan perkembangan batang, daun, maupun akar. (Anas et al. 2020) menambahkan bahwa nitrogen memainkan peran penting dalam tanaman terutama pada proses-proses krusial seperti pertumbuhan, dan produksi hasil hingga biomassa tanaman.

### Jumlah daun

Jumlah daun sebagai variabel pertumbuhan vegetatif mengalami peningkatan pada setiap umur pengamatan. Berdasarkan hasil pengamatan menunjukkan bahwa penggunaan secara terpisah perlakuan dosis *biochar* jerami padi 15 t ha<sup>-1</sup> dan perlakuan dosis *Rhizobium* sebesar 10 g kg<sup>-1</sup> benih sama-sama dapat meningkatkan jumlah daun pada tanaman kedelai hitam dari umur pengamatan 14 hingga umur 42 HST (puncak vegetatif) (Tabel 2). Penggunaan *biochar* jerami padi dapat meningkatkan jumlah daun dikarenakan *biochar* memiliki sifat mampu membuat unsur hara mudah tersedia untuk tanaman, sehingga pada saat tanaman memasuki fase pembentukan daun tidak mengalami kekurangan nutrisi. Kapoor et al. (2022) menjelaskan bahwa suatu tanah yang diaplikasikan *biochar* memiliki tingkat retensi hara paling besar sehingga mampu mengurangi total kebutuhan pupuk di tanah pertanian. Menurut Hossain et al. (2020) tingkat retensi hara yang besar akibat aplikasi *biochar* didukung oleh sifat fisika dari *biochar* itu sendiri seperti luas permukaan *biochar*, dan porositas *biochar* serta sifat kimia seperti muatan pada permukaan *biochar* yang berhubungan dengan KTK. Pengaruh dari ukuran partikel *biochar* yang kecil dan luas permukaan yang besar membuat *biochar* berperan penting dalam

menyediakan habitat yang baik dan sesuai untuk mikroorganisme tanah, dan porositas yang besar pada *biochar* dapat membuat tanah yang diaplikasikan mampu meningkatkan kapasitas menahan air, sehingga proses *leaching* (pencucian) pada unsur hara akan dapat dihindari. Lamichhane et al. (2023) menambahkan bahwa dengan sifat tersebut membuat penerapan *biochar* pada tanah akan meningkatkan ketersediaan unsur hara dan retensi hara, terutama unsur nitrogen yang berperan penting dalam pertumbuhan dan produksi tanaman.

Dilain sisi dengan penambahan *Rhizobium* pada tanah yang sudah dicampur dengan *biochar* jerami padi dapat meningkatkan jumlah daun karena tercukupinya kebutuhan nitrogen bagi tanaman kedelai hitam. Hal ini dikarenakan peran nitrogen sangat penting dalam fase pertumbuhan yaitu tidak hanya dalam peningkatan tinggi tanaman, namun untuk pembentukan daun. Sejalan dengan pernyataan Sun dan Shahrajabian (2022) yang menyatakan bahwa aplikasi *Rhizobium* selain untuk mengefisiensikan pemupukan nitrogen juga menjadi salah satu program ramah lingkungan yang dapat dilakukan dalam perbaikan pertumbuhan dan produksi tanaman legum. Menurut Lepetit and Brouquisse (2023) meskipun nitrogen di atmosfer dikatakan sebagai sumber energi nitrogen (N) yang tidak terbatas, adanya simbiosis dari bakteri *Rhizobium* dalam memfiksasi nitrogen secara umum tidak sepenuhnya mampu memenuhi kebutuhan N bagi tanaman. Penggunaan *Rhizobium* merupakan solusi tepat untuk membantu tanah dalam menyediakan hara N tanpa harus merusak lingkungan dengan penggunaan pupuk kimia secara terus menerus, jika tanaman tumbuh di tanah miskin N.

**Tabel 1.** Tinggi tanaman kedelai hitam respons aplikasi *biochar* jerami padi dan *Rhizobium*

| Perlakuan <i>biochar</i><br>jerami padi | Umur Tanaman (HST) |            |              |              |              |
|-----------------------------------------|--------------------|------------|--------------|--------------|--------------|
|                                         | 14                 | 21         | 28           | 35           | 42           |
| B0 (0 t ha <sup>-1</sup> )              | 10,35±1,06         | 13,14±1,37 | 20,68±2,41   | 31,14±4,11   | 39,87±4,16   |
| B1 (10 t ha <sup>-1</sup> )             | 10,91±0,42         | 13,92±1,11 | 21,83±2,19   | 31,47±3,26   | 42,59±4,16   |
| B2 (15 t ha <sup>-1</sup> )             | 10,74±0,77         | 14,18±0,76 | 21,03±1,65   | 32,26±2,27   | 41,09±3,42   |
| Sig. ANOVA                              | 0,24               | 0,06       | 0,25         | 0,47         | 0,06         |
| Perlakuan <i>Rhizobium</i>              | Umur Tanaman (HST) |            |              |              |              |
|                                         | 14                 | 21         | 28           | 35           | 42           |
| R0 (0 g kg <sup>-1</sup> benih)         | 10,24±1,09         | 13,37±1,49 | 19,70±1,50a  | 29,57±3,31a  | 37,98±3,22a  |
| R1 (5 g kg <sup>-1</sup> benih)         | 11,19±0,53         | 14,32±0,93 | 22,44±1,83b  | 33,01±2,97b  | 43,18±2,89b  |
| R2 (10 g kg <sup>-1</sup> benih)        | 10,55±0,79         | 13,73±1,20 | 21,58±2,58ab | 32,41±2,64ab | 42,78±3,35ab |
| R3 (15 g kg <sup>-1</sup> benih)        | 10,68±0,47         | 13,58±0,93 | 21,00±1,64ab | 31,50±3,40ab | 40,79±4,49ab |
| Sig. ANOVA                              | 0,12               | 0,29       | 0,02         | 0,02         | 0,00         |

Keterangan: HST = Hari setelah tanam

**Tabel 2.** Jumlah daun tanaman kedelai hitam respons aplikasi *biochar* jerami padi dan *Rhizobium*

| Perlakuan <i>biochar</i><br>jerami padi | Umur Tanaman (HST) |             |             |              |             |
|-----------------------------------------|--------------------|-------------|-------------|--------------|-------------|
|                                         | 14                 | 21          | 28          | 35           | 42          |
| <b>B0 (0 t ha<sup>-1</sup>)</b>         | 2,67±0,29          | 4,19±0,48   | 6,15±0,69a  | 10,90±1,96a  | 16,33±3,00a |
| <b>B1 (10 t ha<sup>-1</sup>)</b>        | 2,85±0,20          | 4,33±0,29   | 6,77±0,96b  | 11,75±1,74ab | 18,65±4,04b |
| <b>B2 (15 t ha<sup>-1</sup>)</b>        | 2,83±0,22          | 4,48±0,34   | 6,52±0,56ab | 12,13±1,66b  | 19,31±3,55b |
| <b>Sig. ANOVA</b>                       | 0,08               | 0,10        | 0,02        | 0,02         | 0,00        |
| Perlakuan <i>Rhizobium</i>              | Umur Tanaman (HST) |             |             |              |             |
|                                         | 14                 | 21          | 28          | 35           | 42          |
| <b>R0 (0 g kg<sup>-1</sup> benih)</b>   | 2,67±0,28          | 3,97±0,34a  | 5,83±0,57a  | 9,78±1,13a   | 14,17±1,47a |
| <b>R1 (5 g kg<sup>-1</sup> benih)</b>   | 2,94±0,11          | 4,50±0,33b  | 6,64±0,70b  | 12,19±1,89b  | 19,25±3,21b |
| <b>R2 (10 g kg<sup>-1</sup> benih)</b>  | 2,78±0,26          | 4,50±0,22b  | 6,78±0,71b  | 12,28±1,51b  | 20,47±3,86b |
| <b>R3 (15 g kg<sup>-1</sup> benih)</b>  | 2,75±0,25          | 4,36±0,42ab | 6,67±0,83b  | 12,11±1,54b  | 18,50±2,60b |
| <b>Sig. ANOVA</b>                       | 0,07               | 0,01        | 0,00        | 0,00         | 0,00        |

Keterangan: HST = Hari setelah tanam

### Luas daun

Berdasarkan hasil pengamatan luas daun, pemberian *biochar* jerami padi 15 t ha<sup>-1</sup> dan *Rhizobium* pada dosis 10 g kg<sup>-1</sup> benih dapat meningkatkan luas daun tanaman kedelai hitam di setiap umur pengamatan dibandingkan dengan penggunaan perlakuan non-*biochar* dan non-*Rhizobium*. Pada pemberian 15 t ha<sup>-1</sup> *biochar* jerami padi, peningkatan luas daun tidak terlepas dari persentase bahan organik *biochar* jerami padi yang cukup tinggi yaitu 22,62%. Hal ini berkaitan dengan sifat bahan organik yaitu semakin tinggi nilai bahan organik pada *biochar* maka nilai KTK turut meningkat. Menurut Selvarajh et al. (2023), *biochar* dengan nilai KTK yang tinggi mampu mengikat lebih banyak nutrisi dalam tanah. Pengikatan hara agar tetap dalam tanah melalui KTK ini dimulai dengan adanya muatan-muatan yang berlawanan yang saling tarik menarik sehingga tanah dapat menukarkan unsur hara tersebut dengan akar tanaman. *Biochar* jerami padi menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi peningkatan luas daun tanaman kedelai hitam, karena dapat mempertahankan ketersediaan hara untuk tanaman.

Hubungan erat antara *biochar* jerami padi yang dapat memperbaiki mikrohabitat mikroba seperti *Rhizobium* juga menjadi salah satu faktor peningkatan luas daun. *Biochar* memiliki kandungan bahan organik tinggi karena berperan sebagai sumber energi bagi organisme dalam tanah. Baik atau tidaknya habitat untuk mikroba akan mempengaruhi aktivitas mikroba, termasuk aktivitas bakteri *Rhizobium* dalam fiksasi N bagi tanaman kedelai hitam. Pada pemberian *Rhizobium* 10 g kg<sup>-1</sup> benih juga menunjukkan adanya peningkatan terhadap jumlah dan luas daun tanaman kedelai hitam. Meningkatnya jumlah dan luas daun dapat diakibatkan oleh tercukupinya kebutuhan nitrogen yang disediakan oleh *Rhizobium* melalui fiksasi N. Hal ini dikarenakan peran nitrogen sangat penting dalam fase pertumbuhan yaitu pada

pembentukan daun dan perluasan daun. Penggunaan dosis *Rhizobium* yang tepat akan menghasilkan pertumbuhan yang baik melalui fiksasi N yang diawali proses reduksi nitrogen di atmosfer (N<sub>2</sub>) menjadi amonia (NH<sub>3</sub>/ NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) di dalam bakteri *Rhizobium* dan kemudian mentransfer NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ke tanaman ketika kebutuhan N-nya tidak terpenuhi oleh mineral N yang ada di dalam tanah (Roy dan Müller 2022). Sesuai dengan pernyataan Reddy et al. (2020), peningkatan luas daun tanaman kedelai utamanya diakibatkan oleh bakteri endofit seperti *Rhizobium* yang berasosiasi dalam bintil akar tanaman atau dapat disebut dengan proses fiksasi N, sehingga penggunaan *biochar* jerami padi yang dikombinasikan dengan *Rhizobium* dapat meningkatkan luas daun tanaman kedelai hitam.

### Jumlah bintil akar efektif

Penggunaan dosis *biochar* jerami padi 10 t ha<sup>-1</sup> dan dosis *Rhizobium* 5 g kg<sup>-1</sup> benih secara terpisah dapat meningkatkan jumlah bintil akar efektif. Pertumbuhan bintil akar mencakup jumlah dan bobot kering bintil akar dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti pH dan kelembaban pada tanah. Pada mulanya lahan yang digunakan untuk penelitian ini memiliki pH tanah sebesar 6,80 atau masih tergolong pH asam saat sebelum dilakukan aplikasi *biochar* jerami padi dan *Rhizobium*. Menurut Bekere (2013) kondisi tanah yang masam dapat menurunkan fiksasi nitrogen yang dapat memberi dampak negatif pada pertumbuhan dan hasil, terutama bagi tanaman yang bergantung banyak pada simbiosis untuk mencukupi kebutuhan nitrogen. Faozi et al. (2019) menambahkan bahwa pada kisaran 50-60% kebutuhan hara N pada tanaman kedelai dapat tercukupi melalui fiksasi N<sub>2</sub> secara biologi, sehingga dengan adanya peningkatan pH tanah akan memberikan efek positif terhadap tingginya produksi bintil akar efektif.



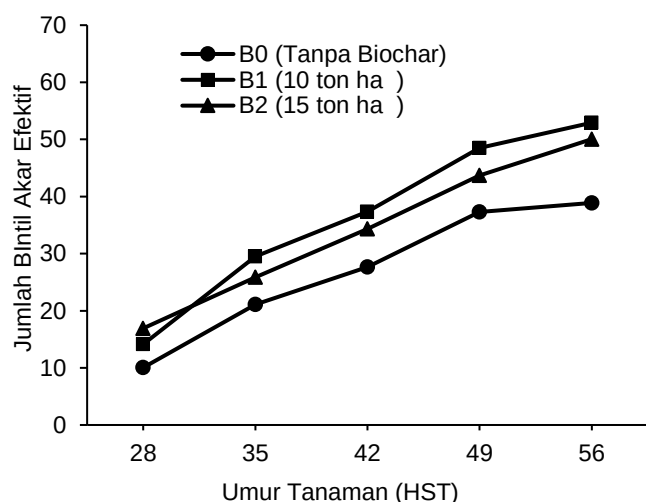
**Tabel 3.** Luas daun tanaman kedelai hitam respons aplikasi *biochar* jerami padi dan *Rhizobium*

| Perlakuan <i>biochar</i><br>jerami padi | Umur Tanaman (HST) |               |                |                |                |
|-----------------------------------------|--------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|
|                                         | 14                 | 21            | 28             | 35             | 42             |
| <b>B0 (0 t ha<sup>-1</sup>)</b>         | 40,32 ±8,31a       | 78,89±14,95a  | 244,99±40,18a  | 442,62±102,27a | 697,85±93,90a  |
| <b>B1 (10 t ha<sup>-1</sup>)</b>        | 46,44±5,64b        | 102,60±26,36b | 285,06±40,66b  | 544,06±81,45b  | 802,25±105,73b |
| <b>B2 (15 t ha<sup>-1</sup>)</b>        | 45,23±4,75ab       | 91,25±18,06ab | 267,12±32,11ab | 504,56±94,83b  | 814,02±153,63b |
| <b>Sig. ANOVA</b>                       | 0,01               | 0,00          | 0,01           | 0,00           | 0,02           |

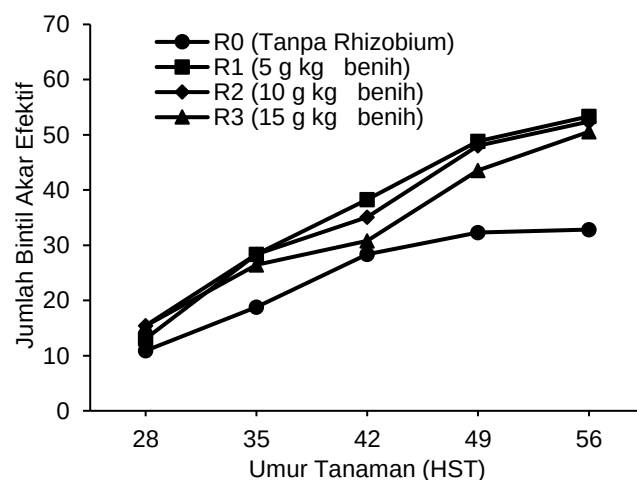
| Perlakuan <i>Rhizobium</i>             | Umur Tanaman (HST) |               |                |                |                 |
|----------------------------------------|--------------------|---------------|----------------|----------------|-----------------|
|                                        | 14                 | 21            | 28             | 35             | 42              |
| <b>R0 (0 g kg<sup>-1</sup> benih)</b>  | 37,18±6,81a        | 72,74±14,10a  | 232,58±38,81a  | 427,99±112,51a | 672,24±99,60a   |
| <b>R1 (5 g kg<sup>-1</sup> benih)</b>  | 43,79±4,05b        | 94,87±26,88b  | 284,69±28,08b  | 535,99±92,44b  | 819,03±97,01b   |
| <b>R2 (10 g kg<sup>-1</sup> benih)</b> | 49,62±5,15b        | 94,89±19,51b  | 282,55±40,72b  | 529,71±75,79b  | 850,09±123,44b  |
| <b>R3 (15 g kg<sup>-1</sup> benih)</b> | 45,39±4,67b        | 101,15±17,50b | 263,07±36,62ab | 494,65±92,11ab | 744,14±127,40ab |
| <b>Sig. ANOVA</b>                      | 0,00               | 0,00          | 0,00           | 0,00           | 0,01            |

Keterangan: HST = Hari setelah tanam

**Gambar 1.** Jumlah bintil akar efektif kedelai hitam respon aplikasi *biochar* jerami padi

Pengaruh *Rhizobium* terhadap peningkatan jumlah bintil akar efektif adalah adanya keterkaitan antara pH tanah, kelembaban tanah, dengan habitat *Rhizobium* yang berpengaruh langsung terhadap aktivitasnya dalam memfiksasi N. Menurut [Nakei et al. \(2022\)](#) populasi dan aktivitas *Rhizobia* bervariasi tergantung pada kondisi tanah pertanian, yang mana kondisi tanah dengan kemasaman dan alkalinitas yang ekstrem dapat mempengaruhi aktivitas *Rhizobium*. Gangguan terhadap aktivitas *Rhizobium* akan membuat inisiasi bintil akar tidak terjadi sehingga banyak bintil akar yang tidak efektif dalam melakukan fiksasi N dan berujung pada terhambatnya pertumbuhan tanaman. Selaras dengan [Lira et al. \(2015\)](#) bahwa tingkat kemasaman atau alkalinitas tanah mempengaruhi simbiosis antara *Rhizobium* dan tanaman inang, seperti adanya penekanan terhadap faktor nodulasi yang dapat menyebabkan penurunan produksi senyawa kimia eksudat akar yang berfungsi sebagai perantara interaksi antara tanaman inang dengan mikroba tanah. Faktor

kelembaban juga dapat mempengaruhi karena inisiasi bintil akar bergantung pada kelembaban. [Monica et al. \(2013\)](#) menjabarkan bahwa kurangnya kelembaban tanah menjadi salah satu bentuk tekanan lingkungan yang dapat mempengaruhi kelangsungan hidup bakteri pengikat nitrogen karena pada tahapan inisiasi bintil akar tanaman memerlukan kelembaban lebih banyak.

**Gambar 2.** Jumlah bintil akar efektif kedelai hitam respon aplikasi *Rhizobium*

Dalam penelitian ini kondisi pH awal tanah yang masam berubah menjadi lebih netral, serta adanya peningkatan kelembaban tanah saat setelah ditambahkan *biochar* jerami padi yang memiliki pH basa dan KA yang cukup tinggi sehingga *Rhizobium* yang diaplikasikan dapat beraktivitas tanpa terganggu akan habitatnya. Pada penelitian ini, *Rhizobium* dapat memproduksi bintil akar efektif dengan jumlah tinggi pada perlakuan *biochar* jerami padi 10 t ha<sup>-1</sup> dan dosis *Rhizobium* 5 g kg<sup>-1</sup> benih dibandingkan dengan tanpa perlakuan *biochar* dan *Rhizobium*.

### Jumlah polong isi

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, tampak terjadi adanya pengaruh secara terpisah antara dosis *biochar* jerami padi dan dosis *Rhizobium*. ([Gambar 3a](#)) menunjukkan bahwa penggunaan dosis *biochar* jerami padi 10 t ha<sup>-1</sup> dan dosis *Rhizobium* 5 g kg<sup>-1</sup> benih secara bersamaan dapat meningkatkan jumlah polong isi yaitu sebesar 127,39 polong dibandingkan perlakuan kombinasi antara penggunaan non-*biochar* dan non-*Rhizobium* yang memiliki jumlah polong isi paling rendah yaitu 77,39 polong. Perbedaan pengaruh terhadap jumlah polong isi antara penggunaan dosis *biochar* jerami padi 10 t ha<sup>-1</sup> dan dosis *Rhizobium* 5 g kg<sup>-1</sup> benih dengan kombinasi non-*biochar* dan non-*Rhizobium* terhadap jumlah polong isi dapat dikarenakan oleh peran *biochar* jerami padi dan *Rhizobium* yang saling berhubungan dalam meningkatkan laju fotosintesis untuk memperbanyak produksi asimilat yang ditranslokasikan ke organ generatif seperti pada proses pembentukan polong. Pemberian *biochar* jerami padi dan *Rhizobium* dengan dosis tertinggi juga memberikan jumlah polong isi yang tidak lebih banyak dari jumlah polong isi pada penggunaan dosis *biochar* jerami padi 10 t ha<sup>-1</sup> dan dosis *Rhizobium* 5 g kg<sup>-1</sup> benih, karena pemberian *Rhizobium* dengan dosis tinggi tidak cukup efektif dalam menambat nitrogen karena pada fase-fase tertentu pertumbuhan, tanaman tidak terlalu bergantung pada nitrogen hasil fiksasi. Pemberian *Rhizobium* dengan dosis tinggi tidak cukup efektif dalam menambat nitrogen karena pada fase-fase tertentu pertumbuhan, tanaman tidak terlalu bergantung pada nitrogen hasil fiksasi. Seperti pada pernyataan [Thilakarathna et al. \(2021\)](#) yang menyebutkan bahwa fiksasi nitrogen tertinggi hanya terjadi pada tahap pengisian polong karena pada fase tersebut adalah puncak kebutuhan nitrogen tertinggi oleh tanaman.

### Bobot biji per tanaman dan hasil panen per hektar

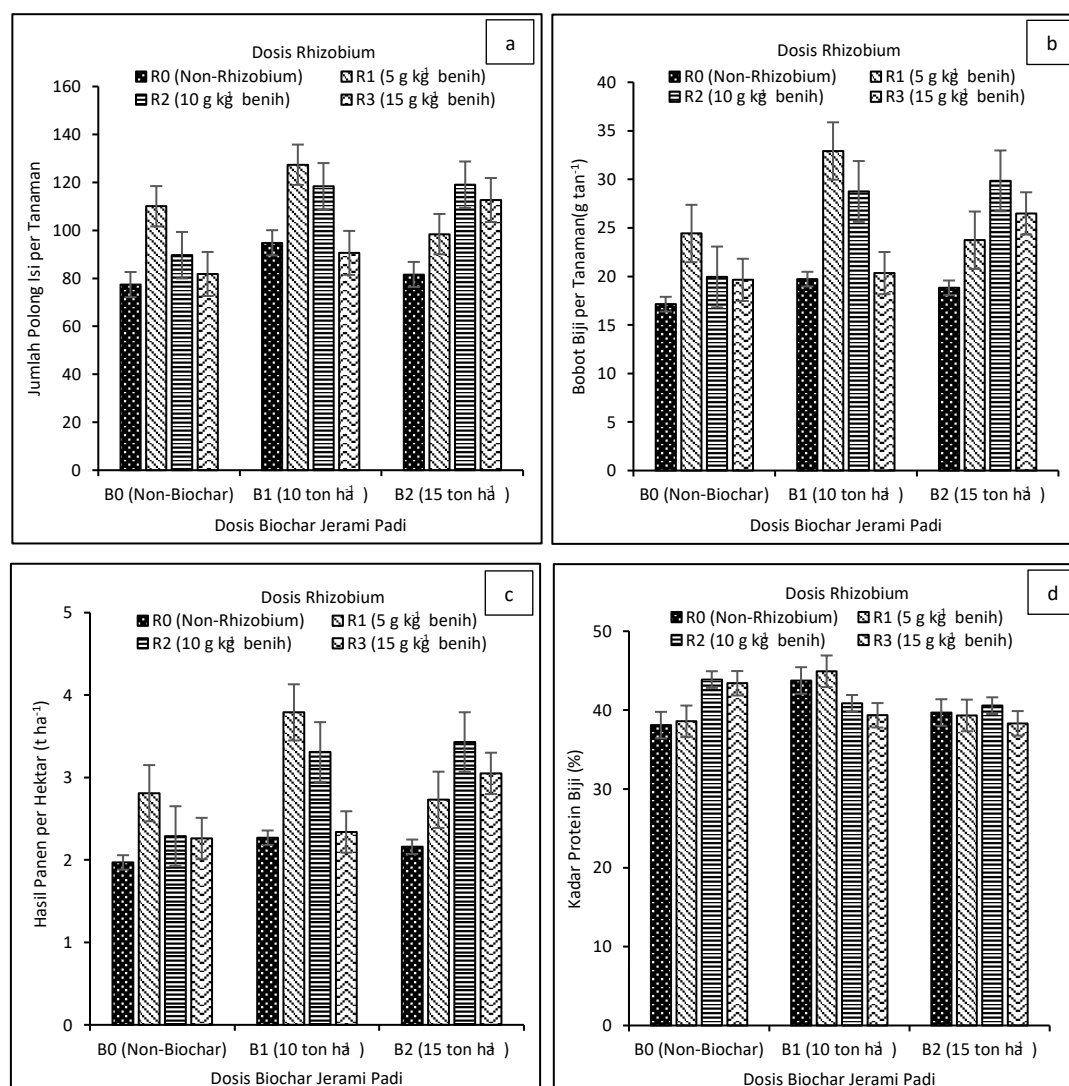
Berdasarkan hasil ([Gambar 3b](#), [Gambar 3c](#)) menunjukkan bahwa kombinasi antara penggunaan dosis *biochar* jerami padi 10 t ha<sup>-1</sup> dan dosis *Rhizobium* 5 g kg<sup>-1</sup> benih dapat meningkatkan bobot biji per tanaman yaitu mencapai 32,92 g tan<sup>-1</sup> dengan konversi hasil biji per hektar sebesar 3,79 t ha<sup>-1</sup>. Perlakuan dosis *biochar* jerami padi 10 t ha<sup>-1</sup> dan dosis *Rhizobium* 5 g kg<sup>-1</sup> benih memiliki bobot biji per tanaman dan konversi hasil per hektar yang lebih tinggi dibandingkan kombinasi perlakuan non-*biochar* dan non-*Rhizobium* yang hanya memiliki bobot biji per tanaman sebesar 17,14 g tan<sup>-1</sup> dan konversi hasil per hektar yang hanya mencapai 1,97 t ha<sup>-1</sup>. Hasil tersebut tampak selaras dengan [Asante et al. \(2020\)](#) yang menyatakan bahwa inokulasi dengan *Rhizobium* pada tanaman legum secara signifikan dapat meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman, seiring dengan peran *biochar* pada tanah yang dapat meningkatkan ketersediaan nutrisi, meningkatkan aktivitas mikroba, dan mendukung pertumbuhan tanaman. Penggunaan *biochar* jerami padi dan *Rhizobium* dalam satu waktu memiliki keterkaitan yang erat selain karena *biochar* jerami padi mendukung kelangsungan hidup dan aktivitas *Rhizobium*, juga

karena efek yang terjadi setelah adanya fiksasi nitrogen oleh *Rhizobium* yaitu membuat tanaman memiliki pasokan N yang banyak dari awal pertumbuhan hingga fase pembentukan biji berakhir. [Ortez et al. \(2019\)](#) membuktikan pada penelitiannya bahwa tanaman kedelai sebagian besar (59%) nitrogen dalam biji berasal dari remobilisasi nitrogen dari organ vegetatif yang mana nitrogen tersebut merupakan akumulasi nitrogen dari fiksasi N<sub>2</sub> dan serapan nitrogen pada tanah saat memasuki fase R5 (awal pengisian biji). Sesuai dengan pernyataan [Gaspar et al. \(2017\)](#) pada penelitiannya terkait kandungan nitrogen yang selalu meningkat sebesar 0,054 kg pada setiap kg peningkatan hasil biji tanaman kedelai. Tahap pertumbuhan R3 (awal pertumbuhan polong) hingga R6 (pembentukan biji lengkap) merupakan tahapan kebutuhan nitrogen kedelai yang paling tinggi ([Mourtzinis et al. 2018](#)). Seperti peran nitrogen bagi tanaman, dengan ketersediaan nitrogen yang cukup maka kandungan klorofil total pada tanaman akan tinggi ([Kubar et al. 2021](#)). Kandungan klorofil yang tinggi akan mempengaruhi laju fotosintesis tanaman, yang mana seiring tingginya laju fotosintesis tanaman juga akan terjadi peningkatan fotosintat yang dihasilkan. Fotosintat inilah yang akan digunakan untuk kebutuhan pertumbuhan tanaman hingga pembentukan biji tanaman kedelai hitam. Selaras dengan [Mete et al. \(2015\)](#) pada penelitiannya yang menjelaskan bahwa semakin tinggi jumlah bintil akar efektif pada tanaman kedelai, maka kadar klorofil akan turut meningkat. Kadar klorofil yang meningkat dapat mempengaruhi fotosintesis pada tanaman karena klorofil merupakan faktor utama berjalannya proses fotosintesis, sehingga pertumbuhan vegetatif dan generatif (produksi biji) pada tanaman kedelai menjadi optimal ([Sari dan Prayudyaningsih 2015](#)).

### Kadar protein biji kedelai hitam

Berdasarkan grafik interaksi ([Gambar 3d](#)) penggunaan dosis *biochar* dan dosis *Rhizobium* terdapat hubungan erat dalam mempengaruhi kadar protein total biji tanaman kedelai hitam. Hasil menunjukkan bahwa kombinasi antara penggunaan dosis *biochar* 10 t ha<sup>-1</sup> dan 5 g kg<sup>-1</sup> benih dosis *Rhizobium* menghasilkan kadar protein total paling tinggi pada biji kedelai hitam yaitu sebesar 44,92%, atau dapat dikatakan kadar protein total bijinya memiliki persentase lebih tinggi dibandingkan kadar protein biji pada kombinasi perlakuan non-*biochar* dan non-*Rhizobium* yang hanya memiliki kadar protein biji sebesar 38.09%.

Protein merupakan komponen penting dalam seluruh pertumbuhan dan perkembangan tanaman kedelai hitam, termasuk juga sebagai komponen bermanfaat pada bijinya yang digunakan untuk tujuan konsumsi. Pada penelitian ini dihasilkan kadar protein tertinggi terdapat pada penggunaan *biochar* jerami padi yang dikombinasikan dengan *Rhizobium*, karena penggunaan perlakuan tersebut dapat memberikan pasokan N yang cukup untuk tanaman kedelai hitam dibandingkan dengan penggunaan perlakuan non-*biochar* dan non-*Rhizobium*.



**Gambar 3.** Hubungan *biochar* jerami padi dan *Rhizobium* terhadap jumlah polong isi (a), bobot biji per tanaman (b), hasil panen per hektar (c), dan kadar protein total biji kedelai hitam (d)

Nitrogen merupakan komponen utama dalam pembentukan asam amino, yang mana asam amino juga berperan penting dalam metabolisme pada benih terutama sintesis protein dalam biji (Mukaromah et al. 2013; Amir et al. 2018). Pembentukan protein pada tumbuhan dipengaruhi oleh beberapa hal. Salah satu hal yang mempengaruhi pembentukan protein tumbuhan adalah ketersediaan hara seperti nitrogen. Sintesis protein pada tumbuhan dapat terjadi akibat pengaruh dari ketersediaan N selama fase perkembangan biji dan selama periode pertumbuhan tanaman (Kaur et al. 2017). Ketersediaan N bagi tanaman kedelai sangat penting terutama pada saat masa pertumbuhan reproduktif yang ditunjukkan dengan tingginya laju akumulasi N dalam biji saat fase pengisian biji (Naeve dan Miller-Garvin 2019).

## KESIMPULAN DAN SARAN

Kombinasi penggunaan *biochar* jerami padi dan *Rhizobium* memberikan pengaruh nyata hanya pada hasil kedelai hitam, kandungan protein biji, dan kualitas tanah, sedangkan pada variabel pertumbuhan tidak didapatkan pengaruh nyata apabila *biochar* jerami padi

dan *Rhizobium* diaplikasikan secara bersamaan. Kombinasi dosis *biochar* 10 t ha<sup>-1</sup> dan dosis *Rhizobium* 5 g kg<sup>-1</sup> benih merupakan kombinasi dosis terbaik yang dapat diterapkan pada budidaya kedelai hitam karena mampu memperbaiki kondisi tanah sehingga hasilnya pun dapat meningkat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amir R, Galili G, Cohen H. 2018. The metabolic roles of free amino acids during seed development. *Plant Sci.* 275:11–18. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2018.06.011>.
- Anas M, Liao F, Verma KK, Sarwar MA, Mahmood A, Chen Z-L, Li Q, Zeng X-P, Liu Y, Li Y-R. 2020. Fate of nitrogen in agriculture and environment: agronomic, eco-physiological and molecular approaches to improve nitrogen use efficiency. *Biol Res.* 53(1):47. <https://doi.org/10.1186/s40659-020-00312-4>.
- Asante M, Ahiabor BDK, Atakora WK. 2020. Growth, nodulation, and yield responses of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) as influenced by combined application of

- Rhizobium* inoculant and phosphorus in the Guinea Savanna Zone of Ghana. *Int J Agron*. 2020:8691757. <https://doi.org/10.1155/2020/8691757>.
- Bekere W, Kebede T, Dawud J. 2013. Growth and nodulation response of soybean (*Glycine max* L.) to lime, *Bradyrhizobium japonicum* and nitrogen fertilizer in acid soil at Melko, South Western Ethiopia. *Int J Soil Sci*. 8(1):25–31.
- Faozi K, Yudono P, Indradewa D, Ma'as A. 2019. Serapan hara N, P, K dan hasil biji kedelai (*Glycine max* L. Merrill) pada pemberian bokashi pelepah pisang pada tanah pasir pantai. *Vegetalika*. 8(3):177–191. <https://doi.org/10.22146/veg.45316>.
- Gaspar AP, Laboski CAM, Naeve SL, Conley SP. 2017. Dry matter and nitrogen uptake, partitioning, and removal across a wide range of soybean seed yield levels. *Crop Sci*. 57(4):2170–2182. <https://doi.org/10.2135/cropsci2016.05.0322>.
- Herdiyantoro D, Setiawan A. 2015. Upaya peningkatan kualitas tanah di Desa Sukamanah dan Desa Nanggerang Kecamatan Cigalantong Kabupaten Tasikmalaya Jawa Barat melalui sosialisai pupuk hayati, pupuk organik dan olah tanah konservasi. *Dharmakarya J Apl Ipteks untuk Masy*. 4(2):66–71.
- Hossain MZ, Bahar MM, Sarkar B, Donne SW, Ok YS, Palansooriya KN, Kirkham MB, Chowdhury S, Bolan N. 2020. *Biochar* and its importance on nutrient dynamics in soil and plant. Springer Singapore.
- Kapoor A, Sharma R, Kumar A, Sepehya S. 2022. *Biochar* as a means to improve soil fertility and crop productivity: a review. *J Plant Nutr*. 45(15):2380–2388. <https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2027980>.
- Kaur G, Serson WR, Orlowski JM, McCoy JM, Golden BR, Bellaloui N. 2017. Nitrogen sources and rates affect soybean seed composition in Mississippi. *Agronomy*. 7(4):1–10. <https://doi.org/10.3390/agronomy7040077>.
- Khambalkar PA, Yadav SS, Singh A, Bhadauria S, Sadawarti MJ. 2021. Soil organic carbon-an explanation to soil health: A review. *Chem Eng*. 2(4):62–72. <https://doi.org/10.53709/CHE.2021.v02i04.011>.
- Kubar MS, Shar AH, Kubar KA, Rind NA, Ullah H, Kalhor SA, Wang C, Feng M, Gujar A, Sun H, et al. 2021. Optimizing nitrogen supply promotes biomass, physiological characteristics and yield components of soybean (*Glycine max* L. Merr.). *Saudi J Biol Sci*. 28(11):6209–6217. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.06.073>.
- Lamichhane B, Dunn B, Ouedraogo A, Singh H. 2023. Preparation of *biochar* for use as a soil amendmen. Oklahoma Coop Ext Serv. [diakses 2024 Mei 23]. <https://extension.okstate.edu/fact-sheets/preparation-of-biochar-for-use-as-a-soil-amendment.html>.
- Lepetit M, Brouquisse R. 2023. Control of the rhizobium–legume symbiosis by the plant nitrogen demand is tightly integrated at the whole plant level and requires inter-organ systemic signaling. *Front Plant Sci*. 14:1114840. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1114840>.
- Lira MA, Nascimento LRS, Fracetto GGM. 2015. Legume-rhizobia signal exchange: Promiscuity and environmental effects. *Front Microbiol*. 6(SEP):1–9. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00945>.
- Mateus R, Kantur D, Moy DANLM. 2017. Pemanfaatan *biochar* limbah pertanian sebagai pembenah tanah untuk perbaikan kualitas tanah dan hasil jagung di lahan kering. *Agrotrop*. 7(2):99–108.
- Mete FZ, Mia S, Dijkstra FA, Abuyusuf M, Hossain ASMI. 2015. Synergistic effects of *biochar* and NPK fertilizer on soybean yield in an alkaline soil. *Pedosphere*. 25(5):713–719. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(15\)30052-7](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(15)30052-7).
- Monica N, Vidican R, Pop R, Rotar I. 2013. Stress factors affecting symbiosis activity and nitrogen fixation by *Rhizobium* cultured in vitro. *ProEnvironment*. 6(13):42–45.
- Mourtzinis S, Kaur G, Orlowski JM, Shapiro CA, Lee CD, Wortmann C, Holshouser D, Nafziger ED, Kandel H, Niekamp J, et al. 2018. Soybean response to nitrogen application across the United States: A synthesis-analysis. *F Crop Res*. 215:74–82. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.09.035>.
- Mukaromah L, Nurhidayati T, Nurfadilah S. 2013. Pengaruh sumber dan konsentrasi nitrogen terhadap pertumbuhan dan perkembangan biji *Dendrobium laxiflorum* J.J Smith secara In Vitro. *J Sains dan Seni Pomits*. 2(1):26–29.
- Naeve SL, Miller-Garvin J. 2019. United States soybean quality annual report 2019. Chesterfield (US): U.S. Soybean Export Council.
- Nakei MD, Venkataramana PB, Ndakidemi PA. 2022. Soybean-nodulating *Rhizobia*: ecology, characterization, diversity, and growth promoting functions. *Front Sustain Food Syst*. 6(April):1–23. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.824444>.
- Nurida NL. 2014. Potensi pemanfaatan *biochar* untuk rehabilitasi lahan kering di Indonesia. *J Sumberd Lahan Ed Khusus*. Desember:57–68.
- Nurida NL, Rachman A, Sutono S. 2015. *Biochar* pembenah tanah yang potensial. Soelaeman Y, Purnomo J, editor. Jakarta (ID): Indonesian Agency for Agricultural Research and Development (IAARD) PRESS.
- Ortez OA, Tamagno S, Salvaggiotti F, Prasad PVV, Ciampitti IA. 2019. Soybean nitrogen sources and demand during the seed-filling period. *Agron J*. 111(4):1779–1787. <https://doi.org/10.2134/agronj2018.10.0656>.
- Prasetyani CE, Nuraini Y, Sucahyono D. 2021. Pengaruh salinitas tanah terhadap efektivitas bakteri *Rhizobium* sp toleran salinitas pada tanaman kedelai (*Glycine max* L. Merrill). *J Tanah dan Sumberd Lahan*.



- 8(1):281–292.  
<https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2021.008.1.31>.
- Reddy GC, Goyal RK, Puranik S, Waghmar V, Vikram K V., Sruthy KS. 2020. Biofertilizers toward sustainable agricultural development. In: Plant Microbe Symbiosis. Cham (CH): Springer International Publishing. hal. 115–128.
- Risnawati, Yusuf M. 2019. Pertumbuhan dan kualitas produksi dua varietas kedelai hitam akibat pemupukan SP-36. *Agrium*. 22(1):45–51.
- Roy S, Müller LM. 2022. A rulebook for peptide control of legume–microbe endosymbioses. *Trends Plant Sci*. 27(9):870–889.  
<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2022.02.002>.
- Santi LP, Goenadi DH. 2010. Pemanfaatan *bio-char* sebagai pembawa mikroba untuk pemantap agregat tanah Ultisol dari Taman Bogo-Lampung. *Menara Perkeb*. 78(2):52–60.
- Sari R, Prayudyaningsih R. 2015. *Rhizobium*: Pemanfaatannya sebagai bakteri penambat nitrogen. *Info Tek Eboni*. 12(1):51–64.
- Selvarajh G, Ch'Ng HY, Zain NBM, Ahmed OH, Jalloh MB, Damrongrak I, Liew JY, Azmin SNHM, Naher L. 2023. Enriched rice straw *biochar* improves soil nitrogen availability and rice plant growth under waterlogged environment. *Bragantia*. 82(2019):e20230104. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20230104>.
- Setyawan G, Huda S. 2022. Analisis pengaruh produksi kedelai, konsumsi kedelai, pendapatan per kapita, dan kurs terhadap impor kedelai di Indonesia. *Kinerja*. 19(2):215–225.  
<https://doi.org/10.30872/jkin.v19i2.10949>.
- Sun W, Shahrajabian MH. 2022. The effectiveness of *Rhizobium* bacteria on soil fertility and sustainable crop production under cover and catch crops management and green manuring. *Not Bot Horti Agrobot Cluj-Napoca*. 50(2):12560.  
<https://doi.org/10.15835/nbha50212560>.
- Surianti K, Darusman D, Syakur S. 2021. Pengaruh *biochar* sekam dan jerami padi terhadap sifat kimia tanah pada tanah bekas tambang batubara. *J Ilm Mhs Pertan*. 6(2):105–111.  
<https://doi.org/10.17969/jimfp.v6i2.16936>.
- Thilakarathna MS, Torkamaneh D, Bruce RW, Rajcan I, Chu G, Grainger CM, Szczyglowski K, Hill B, Raizada MN. 2021. Testing whether pre-pod-fill symbiotic nitrogen fixation in soybean is subject to drift or selection over 100 years of soybean breeding. *Front Agron*. 3(September):1–12.  
<https://doi.org/10.3389/fagro.2021.725813>.
- Triandita N, Putri NE. 2019. Peranan kedelai dalam mengendalikan penyakit degeneratif. *Teknol Pengolah Pertan*. 1(1):6–17.
- Zhan Y, Wei Y, Zhang Z, Zhang A, Li Y, Li J. 2021. Effects of different C/N ratios on the maturity and microbial quantity of composting with sesame meal and rice straw *biochar*. *Biochar*. 3(4):557–564.  
<https://doi.org/10.1007/s42773-021-00110-5>.