

Pengaruh Mikroba Bintil Akar Beberapa Jenis Gulma dan Musim Tanam terhadap Pertumbuhan dan Pembentukan Bintil Akar Kacang Hijau

Effect of Root Nodule Microbes from Several Weeds and Planting Seasons on Growth and Root Nodulation of Mungbean

Baiq Aulia Rosita¹, Wayan Wangiyana^{2*}, Novita Hidayatun Nufus²

¹(Mahasiswa S1, Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian Universitas Mataram, Mataram, Indonesia;

²(Dosen Pembimbing, Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian Universitas Mataram, Mataram, Indonesia.

*corresponding author, email: w.wangiyana@unram.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemberian mikroba bintil akar dari beberapa jenis tanaman terhadap pertumbuhan dan pembentukan bintil pada tanaman kacang hijau. Penelitian dilakukan di Greenhouse dan Laboratorium Mikrobiologi Fakultas Pertanian Universitas Mataram menggunakan Percobaan dilakukan dengan RAL faktorial yang terdiri dari 2 faktor. Faktor pertama adalah sumber mikroba bintil akar, yang terdiri dari 4 aras yaitu M0 (tanpa isolat), M1 (dengan isolat bintil putri malu), M2 (dengan isolat bintil bunga telang), M3 (dengan isolat bintil kacang pintoi). Faktor kedua adalah musim tanam yang terdiri dari 2 aras yaitu musim tanam pertama (MT1) dan musim tanam kedua (MT2). Dengan demikian, diperoleh 8 kombinasi perlakuan yaitu, M0MT1; M1MT1; M2MT1; M3MT1; M0MT2; M1MT2; M2MT2; M3MT2, dengan masing-masing perlakuan diulang sebanyak 3 kali sehingga diperoleh 24 unit percobaan. Hasil penelitian ini yaitu pemberian mikroba bintil akar dari beberapa jenis gulma leguminosa memberikan pengaruh yang nyata terhadap beberapa parameter pertumbuhan seperti M1 pada berat bintil akar dan M3 pada berat akar. Berdasarkan hasil analisis ragam, musim tanam tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap semua parameter pertumbuhan dan pembentukan bintil tanaman kacang hijau. Interaksi antara mikroba bintil akar dan musim tanam hanya memberikan pengaruh yang signifikan terhadap satu parameter, yaitu jumlah cabang pada 6 MST. Pada parameter lain, tidak ditemukan adanya pengaruh interaksi yang nyata.

Kata kunci: inokulasi; kacang_hijau; mikroba_bintil_akar; musim_tanam

ABSTRACT

This study aimed to determine the effect of root nodule microbes from several plant species on the growth and nodule formation of mung bean (*Vigna radiata* L.). The research was conducted in the Greenhouse and Microbiology Laboratory, Faculty of Agriculture, University of Mataram, using a factorial Completely Randomized Design (CRD) with two factors. The first factor was the source of root nodule microbes, consisting of four levels: M0 (no inoculation), M1 (inoculated with *Mimosa pudica* nodule isolates), M2 (inoculated with *Clitoria ternatea* nodule isolates), and M3 (inoculated with *Arachis pintoi* nodule isolates). The second factor was the planting season, consisting of two levels: the first planting season (MT1) and the second planting season (MT2). This resulted in 8 treatment combinations: M0MT1, M1MT1, M2MT1, M3MT1, M0MT2, M1MT2, M2MT2, and M3MT2, with each treatment replicated three times, resulting in 24 experimental units. The results of this study indicate that the application of root nodule microbes from several types of leguminous weeds had a significant effect on several growth parameters, such as M1 on nodule weight and M3 on root weight. Based on the analysis of variance, the planting season did not have a significant effect on any growth parameters or nodule formation of mung bean plants. The interaction between root nodule microbes and planting season only had a significant effect on one parameter, namely the number of branches at 6 weeks after planting (WAP). For other parameters, no significant interaction effects were observed.

Keyword: inoculation; mung_bean; planting_season; root_nodule_microbes

PENDAHULUAN

Kacang hijau (*Vigna radiata* L.) adalah salah satu tanaman pertanian yang memiliki prospek yang sangat baik untuk berkembang. Setelah kedelai dan kacang tanah, kacang hijau adalah komoditas legum terpenting ketiga. Para petani di Indonesia banyak menanam kacang hijau, salah satu alasan adalah permintaan untuk konsumsi dan industri olahan yang terus meningkat (BALITKABI, 2021). Produksi kacang hijau Indonesia mengalami peningkatan; pada tahun 2021, produksinya mencapai 272.758 ton, dengan luas panen rata-rata 204.824 hektar dengan rata-rata produktivitas 1,33 ton/ha (BPS, 2021). Menurut data dari Badan Pusat Statistik (2023), luas panen kacang hijau periode 2019-2023 mengalami fluktuasi yang tidak stabil dan mengalami penurunan. Produksi kacang hijau Indonesia pada tahun 2021 meningkat 16,2% dibandingkan dengan 234.718 ton pada tahun 2018. Konsumsi kacang hijau yang diolah di Indonesia menunjukkan tren fluktuatif selama periode 2019-2023. Pada tahun 2019, jumlahnya tercatat sebesar 211.000 ton dan meningkat cukup signifikan pada tahun 2020 menjadi 258.000 ton, kemudian terus naik pada tahun 2021 hingga mencapai puncaknya di 284.000 ton. Namun, pada tahun 2022 terjadi penurunan cukup tajam menjadi 214.000 ton, sebelum akhirnya kembali naik sebesar 6,54% pada tahun 2023, mencapai angka 228.000 ton (BPN, 2023).

Kacang hijau (*Vigna radiata* L.) memiliki kandungan protein 20-25% dan daya cerna sekitar 77%, dan biasanya digunakan sebagai bahan makanan (Libunelo *et al.*, 2024). Masyarakat Indonesia banyak mengonsumsi kacang hijau dalam bentuk bubur, isi onde-onde, bakpia, dan bahkan untuk perawatan kulit dan kecantikan. Sayuran tauge adalah kecambah kacang hijau. Tanaman ini memiliki banyak zat gizi, seperti amylum, protein, besi, belerang, kalsium, minyak lemak, mangan, magnesium, niasin, dan vitamin B1, A, dan E. Kacang hijau dapat diolah menjadi susu kacang hijau, meskipun belum sepopuler susu kedelai, minuman ini dapat menjadi alternatif minuman kesehatan untuk menjaga kondisi tubuh, mengingat kandungan gizinya yang tidak jauh berbeda dengan kedelai (Andrestian & Hatimah, 2015). Pada umumnya kacang hijau ditanam di daerah persawahan dan tegalan yang memiliki tanah yang lembap dan mendapatkan sinar matahari yang cukup. Kacang hijau adalah jenis palawija dan tanaman budidaya yang dikenal luas di wilayah tropika (Rajab, 2016). Namun demikian, kacang hijau juga dapat tumbuh dan menghasilkan hasil di tanah yang kurang subur (Barus *et al.*, 2014). Untuk meningkatkan produksi kacang hijau, diperlukan metode pengolahan tanah yang baik, melakukan pemupukan tanaman yang tepat juga sangat diperlukan, dan memahami cara yang tepat untuk memelihara tanaman kacang hijau. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan memanfaatkan mikroorganisme sebagai pupuk hayati.

Pupuk hayati adalah sebuah komponen yang mengandung mikroorganisme hidup yang diinokulasikan ke dalam tanah untuk membantu menyediakan unsur hara bagi tanaman (Andriawan, 2010). Menurut Damanik *et al.* (2011), pupuk ini mengandung mikroba aktif yang menghasilkan senyawa penting untuk ketersediaan hara yang dapat diserap tanaman. Secara umum, pupuk hayati mencakup kelompok mikroba fungsional tanah, seperti bakteri, fungi, dan alga, yang berperan sebagai penyedia hara (Saraswati, 2012). Berbagai jenis tanaman legum, seperti putri malu (*Mimosa pudica*), bunga telang (*Clitoria ternatea*), dan kacang pinto (*Arachis pintoi*), dapat dimanfaatkan bintil akarnya karena bersimbiosis dengan *Rhizobium* untuk mendukung fiksasi nitrogen, meningkatkan kesuburan tanah, serta memperbaiki pertumbuhan dan hasil tanaman, termasuk kacang hijau (Howieson & Dilworth, 2016).

Putri malu merupakan tanaman liar yang banyak tumbuh di berbagai daerah, termasuk di Nusa Tenggara Barat (NTB), dan sebagai tanaman leguminosa, ia bersimbiosis dengan bakteri *Rhizobium* sehingga membentuk organ akar berupa nodul atau bintil akar (Febriantiningrum, 2023). Kacang pinto (*Arachis pintoi*), yang masih satu keluarga dengan kacang tanah, juga termasuk leguminosa yang memiliki daun dan karakteristik tumbuh merambat meskipun tidak menghasilkan polong, serta mampu membentuk bintil akar melalui hubungan simbiosis mutualistik dengan *Rhizobium* di tanah; proses infeksi oleh *Rhizobium* dimulai dari pembentukan benang infeksi yang menembus sel-sel akar, memicu pembentukan bintil akar yang di dalamnya terdapat koloni bakteri tersebut yang berperan penting bagi tanaman (Sumiahadi *et al.*, 2016). Bunga telang juga merupakan tanaman leguminosa yang bersimbiosis dengan *Rhizobium* untuk membentuk bintil akar, di mana bakteri ini mampu menangkap nitrogen bebas dari udara dan mengubahnya menjadi senyawa nitrogen yang dapat diserap tanaman. Selain itu, di wilayah rhizosfer ketiga tanaman ini terdapat berbagai bakteri seperti *Azotobacter*, *Pseudomonas putida*, *Actinomycetes*, dan *Bacillus* sp., yang memanfaatkan eksudat akar sebagai sumber nutrisi, menghasilkan metabolit sekunder,

melarutkan fosfat dan kalium, memproduksi zat pengatur tumbuh (ZPT), serta menekan perkembangan mikroba patogen, sehingga mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman secara optimal (Nopriyanti *et al.*, 2020).

Legin bakteri *Rhizobium* dapat digunakan pada tanaman kacang hijau untuk meningkatkan jumlah bintil akar. Bakteri *Rhizobium* memiliki kemampuan bersimbiosis dengan tanaman legum untuk membentuk bintil akar, yang kemudian menambat nitrogen dari udara guna memenuhi kebutuhan nitrogen tanaman, setidaknya hingga 75%. Bintil akar pada tanaman kacang hijau (serta tanaman polong-polongan lainnya) memegang peranan penting sebagai tempat berlangsungnya proses fiksasi nitrogen (N₂). Akibatnya, proses fiksasi nitrogen menghasilkan lebih banyak nitrogen dari bintil akar, yang dapat digunakan langsung oleh tanaman untuk pertumbuhan daun, batang, akar, dan bunga (Novriani, 2011). Inokulasi biasanya dilakukan dengan memasukkan biakan *Rhizobium* ke dalam tanah agar bakteri dapat berinteraksi dengan tanaman, dengan cara mengikat N₂ dari udara (Suharjo, 2001). Meskipun demikian, keberhasilan inokulasi mikroba bintil akar dapat bervariasi tergantung pada berbagai faktor, termasuk strain *Rhizobium* yang digunakan, kondisi lingkungan, dan metode yang digunakan.

BAHAN DAN METODE

Percobaan dilaksanakan di Greenhouse dan Laboratorium Mikrobiologi, Fakultas Pertanian, Universitas Mataram. Kegiatan penelitian berlangsung pada bulan April hingga Juni 2025. Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *autoclave*, cawan petri, erlenmeyer, pipet mikro, gelas ukur, laminar air flow, mortar, timbangan, tabung reaksi, shaker, jarum ose, batang pengaduk, label dan lampu spiritus, cangkul, polibag, solder, penggaris, sekop kecil, kamera, talirafia dan alat tulis. Bahan yang digunakan di laboratorium yaitu, Air steril 1 Liter, NaCl 8,5 g/1 Liter, NA (Nutrient Agar) 4 g, NB (Nutrient Broth) 9,6 g/1,2 liter, Bintil akar 1 g (putri malu, kacang pinto, bunga telang), dan Alkohol 90%. Sedangkan bahan yang digunakan di lapangan adalah 90 biji kacang hijau varietas vima 4, tanah sawah, pasir, 3 suspensi bakteri bintil akar (putri malu, kacang pinto, bunga telang), pupuk phonska dan air.

Penelitian dirancang dengan RAL faktorial yang terdiri dari 2 faktor. Faktor pertama adalah sumber mikroba bintil akar, yang terdiri dari 4 aras yaitu M0 (tanpa isolat), M1 (dengan isolat bintil putri malu), M2 (dengan isolat bintil bunga telang), M3 (dengan isolat bintil kacang pinto). Faktor kedua adalah musim tanam yang terdiri dari 2 aras yaitu musim tanam pertama (MT1) dan musim tanam kedua (MT2). Dengan demikian, diperoleh 8 kombinasi perlakuan yaitu, M0MT1; M1MT1; M2MT1; M3MT1; M0MT2; M1MT2; M2MT2; M3MT2, dengan masing-masing perlakuan diulang sebanyak 3 kali sehingga diperoleh 24 unit percobaan. Tahapan-tahapan dalam penelitian ini adalah pembuatan inokulum bakteri, persiapan media tanam, persiapan benih, penanaman, inokulasi mikroba bintil akar, pemupukan penyiraman, hingga pemanenan. Parameter yang diamati yaitu, tinggi tanaman, jumlah daun, jumlah cabang, berat bintil akar, berat akar, dan berat segar batang. Hasil pengamatan dianalisis dengan menggunakan analisis keragaman (ANOVA) pada taraf nyata 5% apabila asumsi terpenuhi maka dilanjutkan dengan uji lanjut BNJ pada taraf nyata 5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil isolasi bakteri dari bintil akar berbagai jenis gulma leguminosa, diketahui bahwa setiap spesies gulma memiliki keanekaragaman mikroba tersendiri yang berkembang dalam struktur bintil akarnya. Analisis morfologi secara makroskopis menunjukkan bahwa terdapat variasi karakteristik koloni mikroba yang diisolasi dari masing-masing jenis gulma. Hal ini mengindikasikan adanya perbedaan jenis mikroorganisme penambat nitrogen yang bersimbiosis dengan tanaman inangnya. Namun, dalam penelitian ini tidak dilakukan identifikasi lanjutan secara molekuler maupun biokimia untuk menentukan spesies mikroba secara spesifik. Hasil pengamatan morfologi makroskopis dari isolat mikroba bintil akar tersebut disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Hasil Isolasi Bakteri Bintil Akar dari tiap Gulma

Gambar A pada Gambar 1 menunjukkan hasil isolasi pada bintil akar tanaman, adanya keberagaman jenis bakteri yang bersimbiosis dengan masing-masing tanaman. Berdasarkan isolasi yang dilakukan, mikroba yang berhasil diisolasi dari bintil akar putri malu (*Mimosa pudica*) adalah sebanyak 4 biakan yang diduga diidentifikasi sebagai *Rhizobium*, *Pseudomonas*, dan *Bacillus*, yang merupakan kelompok bakteri penambat nitrogen simbiotik yang umum ditemukan bersimbiosis dengan tanaman leguminosae (Chen *et al.*, 2024). Berdasarkan literatur dari Nufus *et al.* (2022) hasil penelitian didapatkan 7 isolat yang berhasil diisolasi dari bintil akar tanaman putri malu. Berdasarkan hasil analisis morfologi koloni secara makroskopis yang di lanjutkan dengan observasi mikroskopis terhadap morfologi sel serta pengecetan gram, hasil penelitian menunjukkan bahwa isolat-isolat tersebut termasuk dalam beberapa genus mikroorganisme, yaitu *Bacillus*, *Rhizobium*, *Pseudomonas*, dan *Actinomyces*. Isolat *Bacillus* diketahui memiliki morfologi sel berbentuk batang, bersifat gram positif, dengan koloni bulat, cembung, tepi rata, dan berwarna putih. Isolat *Pseudomonas* diketahui koloni berbentuk bulat dengan warna putih tulang, elevasi datar, tepian rata, sel berbentuk coccus dengan tipe gram negatif, positif katalase, dan motil akibat adanya flagel (Oktafitria *et al.*, 2019). Sementara itu, isolat *Rhizobium* memiliki karakteristik koloni bulat berukuran besar, berwarna putih susu, cembung, mengkilap, berbentuk sirkular dengan pinggiran rata (Puspita *et al.*, 2017). Beberapa karakteristik tersebut sesuai dengan jenis mikroba yang didapat pada isolasi bakteri bintil putri malu berdasarkan identifikasi secara makroskopis.

Berdasarkan Gambar 1 pada gambar B isolasi dari bintil akar bunga telang (*Clitoria ternatea*) menghasilkan 5 biakan, yang diduga teridentifikasi sebagai *Bradyrhizobium*, *Rhizobium*, dan *Bacillus*. Isolat *Bradyrhizobium* memiliki warna koloni putih susu hingga krem, bentuk koloni bundar dengan tepi rata dan sedikit bergelombang, permukaan koloni mengkilap dan sedikit kusam, serta pertumbuhan koloni tergolong lebih lambat dibanding dengan koloni mikroba lain (Guimaraes, 2013). Genus *Bradyrhizobium* dikenal sebagai rhizobia tipe tumbuh lambat yang bersimbiosis efektif dengan leguminosa dari subfamili Papilionoideae, termasuk bunga telang. Beberapa karakteristik tersebut sesuai dengan jenis mikroba yang didapat pada isolasi bakteri bintil bunga telang.

Gambar 1 pada gambar C hasil isolasi dari bintil akar tanaman kacang pinto (*Arachis pintoi*) menunjukkan jumlah koloni terbanyak, yakni sebanyak 6 isolat, yang diduga teridentifikasi sebagai *Bradyrhizobium*, *Rhizobium*, *Bacillus*, *Pseudomonas*. Kacang pinto, yang termasuk dalam genus yang sama dengan *Arachis hypogaea* (kacang tanah), secara alami menunjukkan kecenderungan untuk membentuk simbiosis dengan *Bradyrhizobium* dalam pertumbuhan tanaman. Secara ekologis penting karena *Bradyrhizobium* diketahui memiliki ketahanan tinggi terhadap kondisi tanah tropis yang masam dan miskin nitrogen, sehingga mampu berkontribusi signifikan dalam proses fiksasi nitrogen biologis. Hasil analisis ragam (*Analysis of variance*) data percobaan pengaruh pemberian mikroba bintil akar beberapa jenis tanaman parameter pertumbuhan dan pembentukan bintil kacang hijau disajikan pada tabel 1. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh masing-masing perlakuan. Hasil ANOVA menunjukkan beberapa mikroba berpengaruh signifikan terhadap beberapa parameter seperti jumlah daun 2 MST, 4 MST, 6 MST, jumlah cabang 4 MST, 6 MST, dan berat bintil, berat segar di atas tanah dan tidak signifikan terhadap parameter lainnya. Terdapat beberapa interaksi yang saling berpengaruh signifikan terhadap musim dan perlakuan. Berdasarkan hasil analisis ragam (ANOVA) yang telah dilakukan sebelumnya, beberapa parameter menunjukkan perbedaan nyata antar perlakuan, sehingga dilanjutkan dengan uji lanjut menggunakan metode BNJ (Beda Nyata Jujur) pada taraf signifikansi 5%.

Tabel 1. Rekapitulasi Rekapitulasi Hasil Analisis Ragam (Analysis of Variance) Pengaruh Pemberian Mikroba Bintil Akar Parameter Pertumbuhan dan Pembentukan Bintil Kacang Hijau.

Parameter Pengamatan	Musim Tanam (MT)	Sumber Isolat	Interaksi Musim Tanam (T)
Tinggi Tanaman 2MST (cm)	NS	NS	NS
Tinggi Tanaman 4MST (cm)	NS	NS	NS
Tinggi Tanaman 6MST (cm)	NS	NS	NS
Jumlah Daun 2MST (helai)	NS	S	NS
Jumlah Daun 4MST (helai)	NS	S	NS
Jumlah Daun 6MST (helai)	NS	S	NS
Jumlah Cabang 2MST	NS	NS	NS
Jumlah Cabang 4MST	NS	S	NS
Jumlah Cabang 6MST	NS	S	S
Berat Bintil	NS	S	NS
Berat Segar Akar	NS	NS	NS
Berat Segar Diatas Tanah	NS	S	NS

Tabel 1 menunjukkan bahwa interaksi antara mikroba bintil akar dari beberapa jenis gulma dan musim tanam menunjukkan pengaruh yang nyata hanya terhadap parameter jumlah cabang pada 6 MST dan tidak menunjukkan pengaruh yang nyata terhadap parameter lainnya. Hasil rerata pada respon pertumbuhan vegetatif tanaman kacang hijau terhadap perlakuan yang diberikan, dilakukan pengamatan terhadap parameter tinggi tanaman dan jumlah daun pada umur 2, 4, dan 6 minggu setelah tanam (MST). Parameter ini merupakan indikator penting dalam mengevaluasi dinamika pertumbuhan awal tanaman, yang dapat mencerminkan efektivitas simbiosis rhizobia dalam menyediakan nitrogen bagi tanaman. Data hasil pengamatan tersebut disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 menggambarkan pertumbuhan tinggi tanaman 2 MST, 4 MST, 6 MST dan pertumbuhan jumlah daun 2 MST, 4 MST, dan 6 MST. Berdasarkan hasil pengamatan, pada umur 2 MST, tinggi tanaman pada seluruh perlakuan, termasuk kontrol M0 (31,93) dan inokulasi dengan bakteri M1 (33,36) menunjukkan perbedaan yang signifikan. Namun, pada umur 4 MST M3 memiliki nilai tertinggi yaitu (47,98), sedangkan M1 (47,53), M2 (45,55) serta yang terendah M0 (46,16). Pada umur 6 MST terlihat bahwa tanaman yang diberi tanpa perlakuan M0 memiliki kecenderungan pertumbuhan yang lebih tinggi yakni (53,73) dibandingkan dengan tanaman M1 (52,10), M2 (50,87) serta M3 (52,73). Hal ini diduga, pada tanaman yang diinokulasi mikroba (M1, M2, M3), sebagian energi dialihkan untuk membentuk dan mempertahankan bintil akar serta menjalankan proses fiksasi nitrogen, yang memerlukan energi metabolik tinggi. Saat masuk fase akhir, tanaman mungkin mengalami keterbatasan energi dan nutrisi, sehingga pertumbuhan vegetatif justru menurun dibanding kontrol. Pada perlakuan M2 (mikroba bintil bunga telang) dan M3 (mikroba bintil kacang pinto) memiliki nilai tinggi tanaman yang lebih rendah dibandingkan M1 (mikroba bintil putri malu). Hal ini diduga bahwa keberadaan mikroba dari bintil bunga putri malu mulai memberikan pengaruh nyata terhadap pertumbuhan tanaman seiring dengan berjalannya waktu.

Tabel 2. Rerata Tinggi Tanaman dan Jumlah Daun Tanaman Kacang Hijau Umur 2 MST, 4 MST, dan 6 MST

Perlakuan	Parameter					
	TT 2MST	TT 4MST	TT 6MST	JD 2MST	JD 4MST	JD 6MST
M0	32.73	46.16	52.90	5.00	14.00a	17.00a
M1	33.02	47.98	53.26	4.67	11.67b	14.00b
M2	32.77	46.53	50.87	4.33	11.67b	14.00b
M3	32.63	47.53	52.11	4.33	11.33b	12.67c
BNJ 5%	-	-	-	0.67	0.82	0.95
MT Pertama	32.24	47.05	52.40	4.16	12.16	14.41
MT Kedua	32.01	46.56	52.39	4.16	12.16	14.41
BNJ 5%	-	-	-	-	-	-

Keterangan: TT (Tinggi Tanaman), JD (Jumlah Daun), Angka-angka pada perlakuan dan parameter yang sama yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan hasil uji BNJ pada taraf 5%.

Mikroba bintil akar, seperti yang terdapat pada tanaman bunga putri malu, diketahui mampu bersimbiosis dengan rhizobium dan tanaman inang untuk mendukung dalam fiksasi nitrogen (N_2) dari udara. Nitrogen yang difiksasi akan meningkatkan ketersediaan nitrogen di dalam tanah, sehingga dapat meningkatkan serapan nitrogen oleh tanaman. Nitrogen merupakan unsur hara makro yang sangat penting dalam pembentukan jaringan tanaman dan mempercepat pertumbuhan vegetatif, termasuk peningkatan tinggi tanaman. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Arief *et al.* (2020) menunjukkan bahwa aplikasi isolat Rhizobium dari tanaman legum mampu mempercepat pertumbuhan tinggi tanaman kedelai secara nyata pada fase vegetatif. Pertumbuhan ini terjadi karena meningkatnya ketersediaan nitrogen dalam tanah yang dihasilkan melalui simbiosis antara Rhizobium dengan tanaman kedelai.

Berdasarkan hasil pengamatan pada Tabel 2 jumlah daun pada tanaman tanpa perlakuan isolat mikroba (kontrol) secara konsisten lebih tinggi pada umur 2 MST, 4 MST, dan 6 MST dibandingkan dengan tanaman yang diberi perlakuan mikroba, seperti M1, M2, dan M3. Kondisi ini mengindikasikan bahwa pertumbuhan jumlah daun pada tanaman tanpa perlakuan (kontrol) lebih optimal dibandingkan tanaman yang diinokulasi. Hal ini diduga dapat terjadi karena pada kondisi tanpa mikroba, tanaman memaksimalkan pertumbuhan vegetatif melalui jalur nutrisi yang tersedia secara langsung di dalam tanah, tanpa adanya kompetisi energi yang dialokasikan untuk membentuk simbiosis dengan mikroba bintil akar.

Mikroba dari gulma dapat berkompetisi dengan mikroba asli tanah untuk sumber daya, seperti nutrisi dan ruang yang dapat mengganggu keseimbangan mikrobiota tanah. Penambahan mikroba dari gulma dapat meningkatkan keragaman mikrobiota tanah, yang bermanfaat bagi kesehatan tanah dan tanaman. Seperti mengurangi

resiko terkenanya penyakit pada tanaman budidaya. Peran mikroba, seperti *Rhizobium*, memang penting dalam meningkatkan ketersediaan nitrogen melalui proses fiksasi, namun nitrogen yang difiksasi seringkali lebih banyak digunakan untuk mempercepat pertumbuhan batang dan perkembangan akar, terutama pada fase awal pertumbuhan. Akibatnya, pembentukan daun yang merupakan organ sekunder menjadi tidak maksimal karena prioritas penggunaan nitrogen terfokus pada penguatan struktur utama tanaman. Temuan ini sejalan dengan penelitian Fithria *et al.* (2018) menyatakan bahwa aplikasi *Rhizobium* tidak secara signifikan meningkatkan jumlah daun tanaman kacang tanah, karena nitrogen hasil fiksasi lebih banyak diarahkan untuk pertumbuhan akar dan batang. Berdasarkan hasil penelitian, untuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap pertumbuhan dan aktivitas biologis tanaman kacang hijau, dilakukan pengamatan terhadap beberapa parameter penting, yaitu jumlah cabang, berat bintil akar, berat segar akar, dan berat segar bagian atas tanaman. Data parameter tersebut disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3 pengamatan terhadap jumlah cabang menunjukkan pola yang serupa dengan jumlah daun, di mana tanaman kontrol menghasilkan jumlah cabang yang lebih banyak dibandingkan dengan tanaman yang diberi perlakuan mikroba pada umur 2 MST, 4 MST, dan 6 MST. Jumlah cabang pada musim tanam pertama dan musim tanam kedua data tertinggi dihasilkan pada M0 yaitu (2,00) pada 2 MST, (4,00) pada 4 MST, dan (5,00) pada 6 MST. Namun, pada perlakuan M1, M2, M3 memiliki hasil yang lebih rendah. Hal ini diduga karena energi tanaman tidak terbagi untuk membangun hubungan simbiotik, sehingga seluruh nutrisi diarahkan untuk pertumbuhan vegetatif, termasuk pembentukan cabang. Selain itu, pada tanaman yang diinokulasi mikroba, proses fiksasi nitrogen memerlukan energi metabolik yang cukup besar. Energi ini sebagian digunakan untuk mempertahankan kehidupan mikroba dalam bintil akar sehingga mengurangi ketersediaan energi untuk membentuk cabang baru. Penelitian Fithria *et al.* (2018) mendukung temuan ini, di mana jumlah cabang tidak menunjukkan peningkatan signifikan akibat perlakuan mikroba, karena sebagian besar nitrogen hasil fiksasi dimanfaatkan untuk pertumbuhan organ utama tanaman.

Tabel 3. Rerata jumlah cabang, berat bintil, berat segar akar, berat segar di atas tanah pada tanaman kacang hijau

Perlakuan	Parameter			Berat Bintil	Berat Segar Akar	Berat Segar Batang
	JC 2MST	JC 4MST	JC 6MST			
M0	2.00	4.00a	5.00a	0.34b	0.50	13.98a
M1	1.00	3.00b	4.00b	0.86a	0.52	10.17b
M2	1.00	3.00b	4.00b	0.72a	0.55	9.97b
M3	1.00	2.67b	3.67b	0.81a	0.71	8.11b
BNJ 5%	-	0.47	0.68	0.15	-	3.65
MT Pertama	1.25	3.16	4.25	0.68	0.57	10.58
MT Kedua	1.25	3.16	4.08	0.68	0.57	10.53
BNJ 5%	-	-	0.17	-	-	-

Keterangan: JC (Jumlah Cabang), M0 (kontrol), M1 (bintil putri malu), M2 (bintil bunga telang), M3 (bintil kacang pinto). Angka-angka pada perlakuan dan parameter yang sama yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan hasil uji BNJ pada taraf 5%.

Berdasarkan Tabel 3 hasil penelitian menunjukkan bahwa berat bintil yang terbentuk pada masing-masing perlakuan berbeda nyata. Berdasarkan data, perlakuan dengan mikroba M1 (Bakteri Bintil Putri Malu) menghasilkan berat bintil tertinggi yaitu sebesar 0,86 g, yang secara signifikan lebih berat dibandingkan dengan kontrol (0,34 g) dan perlakuan mikroba lainnya seperti M2 (0,72 g) dan M3 (0,81 g). Berat bintil yang lebih tinggi pada perlakuan M1 mengindikasikan bahwa mikroba dari bintil bunga malu lebih efektif dalam membentuk dan mengembangkan bintil akar pada tanaman inang.

Kemampuan isolat mikroba bintil akar akar putri malu menghasilkan bintil dengan bobot lebih besar diduga disebabkan oleh spesifisitas mikroba tersebut yang memiliki daya infeksi lebih tinggi dan kemampuan fiksasi nitrogen yang lebih aktif dibandingkan dengan mikroba lain. Semakin berat bintil akar yang terbentuk, semakin besar pula jumlah bakteri yang bersimbiosis dan semakin tinggi potensi fiksasi nitrogen yang terjadi. Setyawan (2015) menyatakan bahwa bakteri *Rhizobium* hanya mampu bersimbiosis dengan akar legum, dan membentuk bintil di dalamnya. Hal ini menunjukkan bahwa efektivitas M1 dalam pembentukan bintil lebih unggul dibandingkan dengan M2 dan M3, yang menghasilkan bintil dengan berat relatif lebih rendah. Menurut Astija *et al.* (2022) dalam penelitiannya melaporkan bahwa isolat bakteri dan PGPR dari akar putri malu secara signifikan meningkatkan jumlah, ukuran dan kualitas bintil akar kacang hijau. Ini menunjukkan bahwa isolat mikroba dari

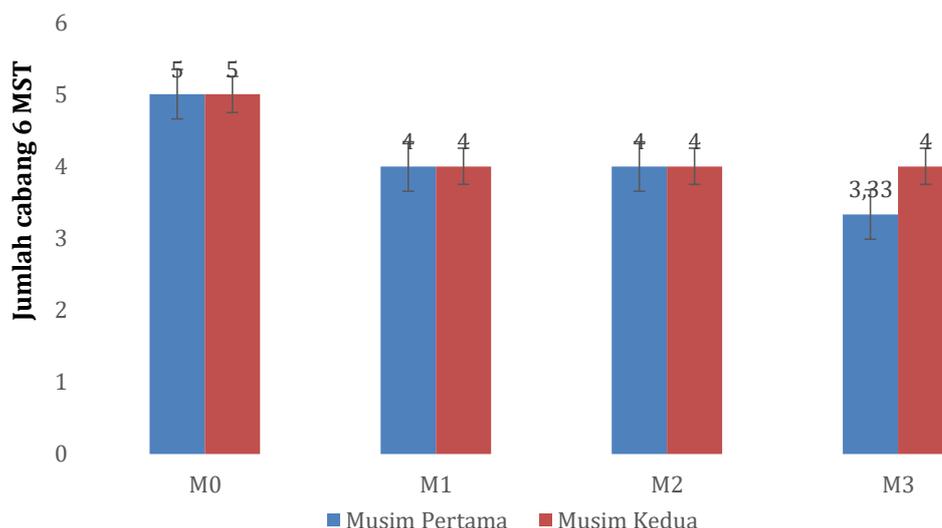
Putri Malu sangat potensial digunakan sebagai bioinokulan untuk meningkatkan efektivitas simbiosis *Rhizobium* dan proses fiksasi nitrogen. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian peneliti mengenai bobot bintil tertinggi, memperkuat kesimpulan bahwa *Rhizobium* dari Putri Malu lebih efektif dibandingkan mikroba lain dalam membentuk bintil akar.

Berdasarkan hasil pengamatan pada Tabel 3, diketahui berat segar akar menunjukkan perbedaan nyata dalam berat segar akar antar perlakuan. Perlakuan dengan mikroba M3 menghasilkan berat akar segar tertinggi, yaitu **0,71 g**, melebihi perlakuan lain seperti M1 (0,52 g), M2 (0,55 g), dan M0 (0,50 g). Keunggulan M3 dalam meningkatkan berat akar segar ini diduga kemungkinan disebabkan oleh kemampuannya mendukung perkembangan sistem perakaran secara lebih optimal, baik dalam jumlah maupun pertumbuhannya dibandingkan mikroba lainnya. Mikroba *Bradyrhizobium*, *Bacillus*, *Rhizobium* yang terdapat pada M3 kemungkinan memproduksi hormon pertumbuhan, seperti enzim yang mendukung proliferasi sel akar serta meningkatkan penyerapan air dan nutrisi, sehingga bobot akar tanaman menjadi lebih besar. Menurut (Zaidi *et al.*, 2009; dalam Hernández & Bashan, 2017), inokulasi *Bradyrhizobium* dapat meningkatkan ketersediaan nutrisi lain di tanah, seperti fosfor, kalium, kalsium, dan magnesium. Oleh karena itu, penggunaan *Bradyrhizobium* sebagai inokulan tidak hanya meningkatkan pertumbuhan tanaman melalui fiksasi nitrogen, tetapi juga berkontribusi terhadap ketersediaan unsur hara makro lain yang esensial bagi pertumbuhan tanaman. Hal ini terjadi karena *Bradyrhizobium* dapat menghasilkan asam-asam organik yang membantu melarutkan nutrisi yang terikat dalam tanah, sehingga lebih mudah diserap oleh akar tanaman.

Efektivitas M3 terbukti lebih unggul dalam pembentukan akar dibandingkan dengan M1 dan M2. Isolat M1 dan M2 diketahui memiliki bobot akar lebih rendah dan masih belum sebanding dengan peningkatan yang dihasilkan oleh M3. Hal ini menunjukkan bahwa mikroba M3 memiliki kombinasi kemampuan adaptasi dan simbiosis yang lebih baik pada tanaman inang dalam kondisi tersebut. Dari penelitian Roma *et al.* (2024) melaporkan bahwa isolat bakteri bintil akar mampu meningkatkan biomassa sistem perakaran pada tanaman seperti berat segar akar. Saat tanaman diinokulasi dengan *Bradyrhizobium* yang efisien seperti isolat dari putri malu (*M. pudica*), tanaman mengalokasikan lebih banyak asimilat hasil fotosintesis ke proses pembentukan dan pemeliharaan bintil akar (nodul), yang merupakan struktur simbiotik untuk fiksasi nitrogen (Taiz & Zeiger, 2010). Hal ini menunjukkan adanya mekanisme kompensasi fisiologis tanaman antara pembentukan bintil dan pertumbuhan akar, yang berdampak pada hasil akhir biomassa akar segar. Hal ini menunjukkan adanya trade-off antara pembentukan bintil dan pertumbuhan vegetatif akar.

Tabel 3 pada parameter berat segar di atas tanah pada beberapa perlakuan berbeda nyata antar perlakuan, di mana perlakuan M0 menghasilkan berat segar tajuk tertinggi yaitu 13,98 g, melebihi M1 (10,17 g), M3 (9,98 g), dan M2 (8,13 g). Hasil uji lanjut menunjukkan bahwa rata-rata berat segar di atas tanah pada musim pertama adalah 10,58 g dan pada musim kedua sebesar 10,53 g. Selisih rata-rata antar kedua musim ialah 0,05 g. Dengan demikian, secara statistik tidak terdapat perbedaan nyata antara kedua musim terhadap parameter berat segar di atas tanah. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi musim selama penelitian berlangsung relatif seragam dan tidak menyebabkan stres lingkungan yang signifikan bagi tanaman kacang hijau. Perbedaan berat batang segar antara tanaman kontrol dan tanaman perlakuan dapat disebabkan oleh perbedaan aktivitas fisiologis. Tanaman kontrol umumnya memiliki laju fotosintesis dan transpirasi yang lebih baik, sehingga penyerapan air dan hara lebih optimal. Selain itu, keseimbangan hormon seperti auksin lebih stabil, mendukung pertumbuhan batang. Sebaliknya pada tanaman yang diberikan perlakuan tertentu dapat menimbulkan stres fisiologis yang menghambat proses metabolisme dan pertumbuhan. Faktor-faktor ini diduga secara keseluruhan menyebabkan tanaman kontrol menghasilkan berat batang segar yang lebih tinggi. Penelitian serupa oleh Astija *et al.* (2022) juga menyatakan bahwa meskipun PGPR dari akar putri malu mampu meningkatkan jumlah dan kualitas bintil akar secara signifikan, namun berat segar batang yang dihasilkan tidak lebih tinggi dibandingkan kontrol.

Interaksi antara musim tanam pertama dan musim tanam kedua di sajikan pada Gambar 2 yang menunjukkan grafik interaksi antara musim tanam dan perlakuan terhadap jumlah cabang tanaman pada umur 6 minggu setelah tanam (MST). Grafik ini digunakan untuk melihat sejauh mana pengaruh kombinasi faktor musim dan perlakuan terhadap pertumbuhan cabang tanaman, serta untuk mengidentifikasi adanya perbedaan respon tanaman pada musim tanam yang berbeda terhadap masing-masing perlakuan yang diberikan.



Gambar 2. Grafik Interaksi Musim dan Perlakuan terhadap Jumlah Cabang 6 MST.

Gambar 2 menunjukkan grafik perkembangan jumlah cabang per tanaman pada penanaman pertama dan kedua. Berdasarkan grafik tersebut, terlihat bahwa terjadi perbedaan jumlah cabang yang signifikan pada perlakuan M3. Hal ini diduga dipengaruhi oleh perbedaan kondisi jumlah mikroba yang tersedia pada tanah antara kedua musim. Meningkatnya jumlah cabang diduga disebabkan oleh meningkatnya ketersediaan unsur hara di dalam tanah setelah musim tanam pertama. Tanaman yang kekurangan nitrogen cenderung memiliki pertumbuhan yang terhambat karena nitrogen merupakan komponen utama protein, enzim, dan klorofil (Zainudin *et al.*, 2021). Jika pasokan nitrogen dari tanah tidak mencukupi dan mikroba belum aktif secara penuh, maka pembentukan percabangan juga akan terganggu. Hal ini yang mengakibatkan pertumbuhan cabang pada musim tanam pertama dengan perlakuan M3 menjadi terhambat. Pada musim tanam pertama, mikroba yang diinokulasikan seperti *Rhizobium* atau *Bradyrhizobium* masih dalam fase adaptasi dan belum aktif secara maksimal. Mikroba ini membutuhkan waktu untuk berkolonisasi dan membentuk hubungan simbiotik yang stabil dengan tanaman inang. Oleh karena itu, respons pertumbuhan tanaman terutama jumlah cabang, belum terlihat optimal. Pada musim tanam kedua, mikroba yang telah tersimpan dalam tanah mulai aktif dan menunjukkan efek positif terhadap tanaman karena populasi dan kolonisasinya telah meningkat. Menurut Aserse *et al.* (2020), keberhasilan inokulasi mikroba sangat dipengaruhi oleh kemampuan mikroba untuk bertahan dan berkembang di tanah sebelum mampu meningkatkan ketersediaan nitrogen secara efektif bagi tanaman.

KESIMPULAN

Pemberian mikroba bintil akar dari beberapa jenis gulma leguminosa memberikan pengaruh yang nyata terhadap beberapa parameter pertumbuhan seperti M1 pada berat bintil akar dan M3 pada berat akar. Berdasarkan hasil analisis ragam, musim tanam tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap semua parameter pertumbuhan dan pembentukan bintil tanaman kacang hijau. Interaksi antara mikroba bintil akar dan musim tanam hanya memberikan pengaruh yang signifikan terhadap satu parameter, yaitu jumlah cabang pada 6 MST. Pada parameter lain, tidak ditemukan adanya pengaruh interaksi yang nyata.

DAFTAR PUSTAKA

- Andriawan, I. (2010). *Efektivitas Pupuk Hayati Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Padi Sawah (Oryza sativa L.)*. [Skripsi]. Departemen Agronomi dan Hortikultura Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor
- Aserse, A. A., Räsänen, L. A., Asefa, F., Hailemariam, A., & Lindström, K. (2020). Symbiotic effectiveness and survival of rhizobia in different soil types. *Biology and Fertility of Soils*, 56(1), 25–38. <https://doi.org/10.1007/s00374-019-01382-7>
- Astija, A., Yulisa, Y., Alibasyah, L., & Febriani, V. I. (2022). *Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) Akar Bambu, Kacang Hijau, dan Putri Malu untuk Meningkatkan Pertumbuhan Bintil Akar Kacang Hijau*. *Bioscientist: Jurnal Ilmiah Biologi*, 10(2), 652–661. <https://doi.org/10.33394/bioscientist.v10i2.5291>

- Badan Pusat Statistik. (2023). *Statistik Kacang-kacangan Indonesia 2023*. Jakarta: Badan Pusat Statistik <https://www.bps.go.id>
- BALITKABI. (2021). Vimil 1 dan Vimil 2: *Varietas Unggul Kacang Hijau Biji Kecil Umur Genjah* < <https://balitkabi.litbang.pertanian.go.id/infotek/vimil-1-dan-vimil-2-varietas-unggul-kacanghijau-biji-kecil-umur-genjah/>
- Barus, W. A., Khair, H., & Siregar, M. A. (2014). Respon Pertumbuhan dan Produksi Kacang Hijau (*Phaseolus radiatus* L.) Akibat Penggunaan Pupuk Organik Cair TSP. *Agrium*, 28(2-4), 219-229.
- Chen, Y. X. & Zhou, X. H. (2024). *Symbiotic nitrogen fixation: the role of rhizobia in enhancing legume growth and soil fertility*. *Molecular Microbiology Research*, 14(2), 109-118.
- Damanik, M. M. B., Hasibuan, B. E., Fauzi., Sarifudin., & Hamidah, H. (2011). *Kesuburan Tanah dan Pemupukan*. USU Press. Medan
- Dwi Andrestian, M., & Hatimah, H. (2015). Daya Simpan Susu Kacang Hijau (*Phaseolus radiatus* L.) dengan Persentase Penambahan Sari Jahe Merah (*Zingiber officinale* var. *Rubrum*). *Indonesian Journal of Human Nutrition*, 2(1), 38-47. <https://doi.org/10.21776/ub.ijhn.2015.002.01.4>
- Febriantiningrum, K., Sriwulan., & Nurfitriana, N. (2023). Karakterisasi Bakteri Rhizosfer Putri Malu (*Mimosa pudica*) Yang Berpotensi Sebagai Dekomposer Dalam Pembuatan Biourin. *Bioscientist : Jurnal Ilmiah Biologi Volume 11, Issue 2, December 2023; Page, 1239-1245*. Fakultas PGRI Ronggowale, Jawa Timur
- Guimaraes, A.A. (2013). *Genotypic, Phenotypic, and Symbiotic Characterization of Bradyrhizobium Strain Isolated from Amazona and Minas Gerais Soil*. Universidade Faderal De Lavras, 88 pp.
- Hernández, J. P., & Bashan, Y. (2017). Increased availability of calcium, magnesium, phosphorus, and potassium to black beans (*Phaseolus vulgaris*) inoculated with the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum brasilense*. *Agronomy*, 7(3), 45. <https://doi.org/10.3390/agronomy7030045>
- Howieson, J. G., & Dilworth, M. J. (2016). *Working with Rhizobia*. Australian Centre for International Agricultural Research. <https://doi.org/10.33394/bioscientist.v10i2.5291>
- Libunel, D., Liputo, A. S., & Limonu, M. (2024). *Kualitas Penyimpanan Susu Kedelai Kacang Hijau Pasteurisasi dengan Penambahan Ekstrak Daun Sirih*. Fakultas Pertanian. Universitas Gorontalo.
- Nopriyanti, M., Rianto, F., & Wasi'an, W. (2020). Kualitas Pupuk Organik Cair Plus Berbahan Dasar Putri Malu (*Mimosa pudica* Linn.) Yang Difermentasi Dengan Menggunakan Beberapa Jenis Bioaktivator. *Partner*, 25(2), 1403. <https://doi.org/10.35726/Jp.V25i2.492>
- Novriani. (2011). Peranan Rhizobium dalam Meningkatkan Ketersediaan Nitrogen bagi Tanaman Kedelai. *Agronobis*. 3(5): 35-42.
- Nufus, N. H., Wangiyana, W., & Suliartini, W. S. (2022). Isolasi Dan Karakterisasi Mikrobial Bintil Akar Putri Malu (*Mimosa pudica*) Indigenus Dari Lahan Kering Pringgabaya, Lombok Timur. *Gontor AGROTECH Science Journal Vol. 8 No. 1 Hal: 18-27*.
- Nufus, N. H., Wangiyana, W., & Suliartini, W. S. (2024). Pengaruh Pemberian Isolat Bakteri Bintil Akar dan PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) Putri Malu (*Mimosa pudica*) dari Lahan Kering Pringgabaya Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Kacang Hijau (*Vigna radiata*). *Jurnal Ilmiah Agribios Vol 22 No 1*. Universitas Mataram. DOI: <https://doi.org/10.36841/agribios.v22i1.4522>
- Oktafitria, D., Febriantiningrum, K., Nurfitriana, N., Jadid, N., Purwani, K. I., Sumarsih, N., Khotimah, H., Hidayati, D., & Purnomo, E. (2019). Eksplorasi Mikoriza Vesikula Arbuskula (MVA) pada Lahan Revegetasi Pasca Tambang Batu Kapur dan Status Infeksinya terhadap Akar Jagung (*Zea mays*). *Prosiding SNasPPM*, 4(1), 63-70. <http://prosiding.unirow.ac.id/index.php/SNasPPM/article/view/281>
- Rajab, M. A. (2016). Pengaruh Pertumbuhan Kacang Hijau (*Phaseolus radiatus*) dengan Perlakuan Pemberian Media Air Berbeda. *Jurnal Pertanian Berkelanjutan Universitas Cokroaminoto Palopo*, 4(3), 1-10
- Saraswati, R. (2012). Teknologi Pupuk Hayati untuk Efisiensi Pemupukan dan Keberlanjutan Sistem Produksi Pertanian. *Seminar Nasional Pemupukan Dan Pemulihan Lahan*, ha 727-738.
- Setyawan, F., Santoso, M., dan Sudiarso. (2015). Pengaruh Aplikasi Inokulum Rhizobium dan Pupuk Organik terhadap Pertumbuhan dan Produktivitas Tanaman Kacang Tanah (*Arachis hypogaea* L.). *Jurnal Produksi*

-
- Tanaman*, 3(8), 697-705. https://www.neliti.com/publications/130884/pengaruh-aplikasi-inokulum-rhizobium-dan-pupuk-organik-terhadap-pertumbuhan-dan?utm_source=chatgpt.com
- Suharjo, U. K. J. (2001). Efektivitas nodulasi *Rhizobium japonicum* pada kedelai yang tumbuh di tanah sisa inokulasi dan tanah dengan inokulasi tambahan. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia* 3(1), 31-35.
- Sumiahadi, A. (2016). Evaluasi Pertumbuhan dan Perkembangan *Arachis pintoi* sebagai Biomulsa pada Budidaya Tanaman di Lahan Kering Tropis. *J. Agron. Indonesia* 44 (1) : 98 – 103. Universitas Muhammadiyah Jakarta. <https://media.neliti.com/media/publications/74883-none2742910b.pdf?utm>
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2010). *Plant Physiology* (5th ed.). Sunderland, MA: Sinauer Associates. ISBN 978-0-87893-866-7.
- Zaidi, A., Khan, M. S., Ahemad, M., Oves, M., & Wani, P. A. (2009). Recent advances in plant growth promotion by phosphate-solubilizing microbes. In *Microbial strategies for crop improvement* (pp. 23–50). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-01979-1_2
- Zainudin, M. H. M., Saidi, N. B., Othman, R., & Lazim, M. I. M. (2021). Nitrogen fertilization and its influence on growth, physiology and yield of crops: A review. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 44(1), 121–138. <https://doi.org/10.47836/pjtas.44.1.09>