

Pupuk Kandang Sapi dan Mikroorganismen Lokal Meningkatkan Jumlah Pembentukan Bintil Akar, Pertumbuhan dan Hasil Biji Kacang Tanah pada Ultisol Simalingkar

Parlindungan Lumbanraja^{*)}, Anggi Ardika Tampubolon, Ferisman Tindaon, Yanto Raya Tampubolon,
Samse Pandiangan, Bangun Tampubolon

Fakultas Pertanian Universitas HKBP Nommensen, Medan.

Jl. Sutomo No.4A, Perintis, Kec. Medan Tim., Kota Medan, Sumatera Utara 20235, Indonesia

^{*)}Correspondence author: parlindungan.lumbanraja@uhn.ac.id

Abstrak

Bintil akar pada tanaman legum berperan penting sebagai penambat nitrogen bebas dari udara yang selanjutnya diurai oleh mikrobia hingga berfungsi memenuhi kebutuhan N tanaman. Jumlah bintil akar yang meningkat akan meningkatkan jumlah N udara yang dapat diubah menjadi N yang berguna bagi pertumbuhan tanaman. Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan untuk mendapatkan informasi pengaruh perlakuan pupuk kandang dan mikroorganismen lokal, baik sebagai perlakuan tunggal maupun kombinasi dari kedua perlakuan terhadap masing-masing parameter penelitian yang diamati. Jumlah bintil akar yang meningkat akan meningkatkan jumlah N udara yang dapat diubah menjadi N yang berguna bagi pertumbuhan tanaman. Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan untuk mendapatkan informasi pengaruh perlakuan pupuk kandang sapi dan mikroorganismen lokal, baik sebagai perlakuan tunggal maupun kombinasi dari kedua perlakuan terhadap masing-masing parameter penelitian yang diamati. Penelitian dilaksanakan dengan Rancangan Acak Kelompok Faktorial yang terdiri dari pupuk kandang sapi terdiri dari empat taraf perlakuan, dan pemberian mikroorganismen local (MOL) terdiri dari tiga taraf perlakuan. Untuk mengetahui pengaruh perlakuan dilakukan uji analisis variansi dan setiap parameter pengamatan dengan hasil sidik ragam yang nyata pengaruhnya dilanjutkan dengan uji jarak BNT pada taraf uji $\alpha = 0,05$. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa hanya perlakuan pupuk kandang sapi saja yang memperlihatkan pengaruh yang nyata terhadap tinggi tanaman dan jumlah bintil akar tanaman, meski tidak berpengaruh nyata terhadap parameter hasil tanaman tetapi menunjukkan adanya kecenderungan yang menggambarkan terjadinya kompetisi terselubung antara jumlah bintil akar dengan parameter produksi. Perlakuan tunggal MOL dan juga interaksi dari kedua perlakuan tersebut tidak berpengaruh nyata terhadap semua parameter tanaman yang diamati.

Kata kunci: Bintil akar, kacang tanah, legum, *Rhizobium*.

Cow Manure and Local Microorganisms Increase the Number of Root Nodules Formation, Growth and Yield of Peanut Seeds in Simalingkar Ultisol

Abstract

Root nodules in legume plants play an important role as fixing free nitrogen from the air which is then decomposed by microbes to fulfill the plant's N needs. An increasing number of root nodules will increase the amount of air N that can be converted into N which is useful for plant growth. This research was carried out with the aim of obtaining information on the effect of cow manure treatment and local microorganisms, either as a single treatment or a combination of the two treatments on each observed research parameter. The research was carried out using a factorial randomized block design consisting of cow manure consisting of four treatment levels, and administration of local microorganisms (MOL) consisting of three treatment levels. To determine the effect of the treatment, a variance analysis test was carried out and each observation

parameter with significant variance results was followed by a BNT distance test at the $\alpha = 0.05$ test level. From the research results, it was found that only cow manure treatment showed a real influence on plant height and number of plant root nodules, although it did not have a real effect on plant yield parameters but showed a tendency that illustrated the occurrence of hidden competition between the number of root nodules and production parameters. . The single MOL treatment and also the interaction of the two treatments did not have a significant effect on all plant parameters observed.

Keywords: Root nodules, peanuts, legin, Rhizobium.

Received: 22 September 2023; **Revised:** 27 February 2024; **Accepted:** 05 May 2024

PENDAHULUAN

Bintil akar pada tanaman legum berperan penting sebagai rumah bagi mikrobia (Cegelski *et al.*, 2009), khususnya *Rhizobium japonicum* pada tanaman kacang tanah. Mikrobia ini mengikat nitrogen atmosfer atau dinitrogen (N_2) diubah menjadi senyawa nitrogen anorganik, seperti amonium (NH_4^+), yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman (Wojciechowski and Johanna Mahn. 2006.) dan (Goormachtig *et al.*, 2004). Simbiosis *Rhizobium japonicum* dengan tanaman kacang tanah menguntungkan bagi tanaman maupun bakteri tersebut. Sebagai imbalan atas nitrogen yang mereka sediakan, rhizobia diberikan perlindungan di dalam bintil tanaman dan beberapa substrat karbon serta mikronutrien yang mereka perlukan untuk menghasilkan energi dan metabolit kunci untuk proses seluler yang menopang kehidupan mikrobia (Sprent, 2001). Hasil penelitian sebelumnya menyatakan tidak semua bintil akar yang terbentuk mampu berfungsi memfiksasi nitrogen (Huseini dan Wedhastri, 2014). Diketahui juga bahwa kehadiran bahan organik yang diaplikasikan tanpa proses fermentasi lebih baik pengaruhnya terhadap pembentukan bintil akar yang dapat berfungsi efektif (Kumalasari, *et al.*, 2013). Hal lain yang diperoleh bahwa ternyata kelembaban tanah yang berlebihan mengganggu fixasi N oleh mikrobia (Agustina, 2012). Legum berperan aktif dalam proses inisiasi pembentukan bintil akar sebagaimana dijelaskan beberapa ahli sebelumnya, diutarakan bahwa legum melepaskan flavonoid yang yang merangsang bagi mikrobia pemfiksasi N (Biolibretexs, 2023), hal yang sama juga diutarakan juga oleh Tirichine *et al.* (2006). Di dalam bintil akar kacang-kacangan, gas nitrogen (N_2) dari atmosfer diubah menjadi ammonium (NH_4^+) (Wojciechowski and Johanna Mahn. 2006.) yang kemudian diasimilasi menjadi asam amino (bahan penyusun protein), nukleotida (bahan penyusun DNA dan RNA serta unsur-unsur penting lainnya), molekul energi ATP, dan konstituen seluler lainnya seperti vitamin, flavon, dan hormon. Kemampuan mereka untuk memperbaiki gas nitrogen menjadikan legum sebagai organisme pertanian yang ideal karena kebutuhan mereka akan pupuk kimia nitrogen berkurang sebagaimana diutarakan oleh Tirichine *et al.* (2006). Pemberian *Rhizobium* kedalam tanah dapat berbentuk padat maupun cair yang sering dikenal dengan bahan legin (legum inoculum). Bahan ini berisi biang/*master* *Rhizobium* yang nantinya akan menginfeksi akar tanaman leguminosa dan membentuk bintil akar (Gage, 2004) hal ini hanya dibutuhkan pada tanah-tanah yang belum pernah ditanami tanaman legum. Kondisi *Eksudat, secretions, lysates, mucilages* dan *mucigel* yang bersumber dari akar tanaman sangat menentukan kondisi pH tanah (Sylvia *et al.*, 2005), hal ini merupakan suatu cara dari system pada lingkungan rizosfer untuk menentukan mikrobia mana yang dapat berkembang pada lingkungan perakaran tanaman tersebut. Hasil penelitian The Mosaic Company (2016) tanaman legum cenderung mengambil kation lebih besar dari pada anion. Tentunya kondisi tersebut perlu dipertimbangkan untuk kesuburan tanah yang berkelanjutan, karena dengan kenyataan tersebut tanaman ini akan cenderung menjadikan larutan tanah bereaksi asam sebagai akhir dari pertukaran kation yang terjadi antara tanaman dan tanah dalam waktu yang lama. Suharno (2014) mengutarakan bahwa *Rhizobium japonicum* tidak berpengaruh nyata terhadap produksi biji kedelai. Menurut Burdass and Hurst (2002) hanya 60% saja dari gas nitrogen yang difiksasi secara biological tidak lebih dari pada itu, yang berarti masih perlu penambahan nitrogen diluar dari hasil penambahan N secara simbiosis tersebut untuk tujuan memperoleh hasil biji yang maksimal.

Ultisol diketahui sebagai tanah dengan tingkat pelapukan dan perkembangan yang sudah lanjut (Sudaryono, 2009) tentunya termasuk tanah miskin hara, ber KTK rendah, cenderung bereaksi masam, miskin hara basa, hal ini berhubungan dengan kondisi tanah yang sudah mengalami pelapukan lanjut, termakudidalamnya pelapukan liat tipe 2:1 yang pada tahap sebelumnya tinggi mengalami perubahan menjadi liat tipe 1:1 seiring dengan bertambahnya umur tanah tersebut. Atas dasar kenyataan tersebut

perlu upaya untuk mengatasi berbagai kendala yang dihadapi agar tanah tersebut dapat berfungsi menjadi tanah pertanian yang lebih baik. Tanah ini sangat luas digunakan sebagai pertanian lahan kering (Hidayat dan Mulyani, 2005; Prasetyo dan Suriadikarta, 2006).

Aplikasi bahan organik dalam berbagai bentuk, mulai dari kompos dengan berbagai bahan dasar (Lubis, *et al.*, 2022), limbah tahu (Sajar, 2023), pupuk kandang sapi dan lainnya ke dalam tanah, akan memberi manfaat yang dapat memperbaiki kesuburan tanah. Hal ini terjadi sebagai dampak positif dari kehadiran bahan organik ini yang mampu memperbaiki sifat fisika tanah (Hartatik dan Widowati, 2006). Secara teoritis bahwa bahan organik dapat memperbaiki kesuburan tanah secara lengkap. Misalnya perbaikan agregasi tanah tentu akan memberikan perbaikan terhadap beberapa sifat tanah lainnya seperti peningkatan kapasitas pegang air tanah, perbaikan aerasi tanah yang pada akhirnya bermanfaat melalui berbagai proses untuk pertumbuhan tanaman maupun mikrobia dalam tanah. Setelah mengalami pelapukan pupuk kandang sapi sebagai sumber bahan organik tanah memperbaiki kondisi kesuburan tanah secara biologi dalam hal ini meningkatkan variasi dan jumlah mikrobia bermanfaat dalam tanah. Selanjutnya aktivitas mikrobia ini memacu penghancuran bahan organik yang ada sehingga pada akhir penghancuran bahan organik tersebut akan melepaskan berbagai unsur hara ke dalam tanah sehingga kesuburan kimia tanah meningkat. Proses pelapukan bahan organik tersebut, selain memberi manfaat yang telah diutarakan sebelumnya, dari sisa-sisa penghancuran tersebut juga terbentuk berbagai bahan sisa yang mampu memperbaiki kondisi sifat fisika tanah, seperti meningkatkan agregasi tanah yang pada akhirnya memperbaiki aerasi tanah, meningkatkan kapasitas pegang air tanah. Lumbanraja dan Harahap (2015) mengutarakan aplikasi bahan ini setara 20 t/ha memberikan pengaruh terbaik terhadap Kapasitas pegang air tanah. Pada penelitian lainnya terbukti aplikasi bahan ini setara dengan 10 t/ha mampu meningkatkan serapan P tanaman (Lumbanraja *et al.*, 2023).

Bahan lain yang diperkirakan akan memperbaiki kondisi tanah ultisol agar semakin optimal bagi pertumbuhan kacang tanah adalah pemberian mikroorganisme lokal. Kehadiran mikroorganisme akan spesifik pada setiap lingkungan tumbuh. Diketahui bahwa setiap media tumbuh tertentu yang dipersiapkan secara khusus akan memberikan suasana khusus juga, sehingga hanya mikrobia yang spesifik juga akan tumbuh pada media tersebut. Kehadiran mikroorganisme lokal ini akan turut mendukung perbaikan kesuburan tanah yang berguna meningkatkan produksi kacang tanah dan sekaligus menekan penggunaan pupuk kimia yang sudah sangat membebani tanah pertanian pada umumnya. Upaya ini sangat perlu digalakkan dalam upaya menghindari kerusakan tanah yang terus menerus dipaksa penanamannya melalui berbagai penggunaan pupuk kimia yang tanpa batas.

Kacang tanah (*Arachis hypogaea* L.) merupakan tanaman kacang-kacangan kedua terpenting setelah kedelai di Indonesia, tumbuh secara perdu setinggi 30 hingga 50 cm dengan daun-daun kecil tersusun majemuk. Tanaman ini sebagaimana telah diutarakan sebelumnya hidup bersimbiosa mutualisme dengan *Rhizobium japonicum*. Tanaman ini merupakan tanaman C3 yang walau bersifat toleran terhadap intensitas matahari rendah, tetapi ternyata tanaman ini memerlukan intensitas cahaya yang tinggi saat pembentukan ginofor, dan jika intensitas cahaya kurang pada saat tersebut akan berdampak kepada rendahnya pembentukan polong dan juga banyaknya polong hampa. Sangat berbeda dengan tanaman C4 yang merupakan tanaman yang sangat efisien berfotosintesa, sehingga laju fotosintesa tanaman C4 ini lebih tinggi dari tanaman C3 (Sundari dan Purwantoro, 2014).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pupuk kandang sapi dan mikroorganisme lokal bonggol pisang terhadap pertumbuhan, jumlah bintil akar, dan produksi tanaman kacang tanah. Diduga aplikasi perlakuan tunggal maupun interaksinya akan meningkatkan jumlah pembentukan bintil akar, pertumbuhan tanaman pada masa pertumbuhan vegetatif dan produksi biji kacang tanah.

METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu

Penelitian ini telah dilakukan di Kebun Percobaan milik Faperta UHN Medan, tempat berada pada ketinggian 33 meter diatas permukaan air laut (mdpl) dengan tingkat kemasaman (pH) tanah berkisar dari 5,5 hingga 6,5 dengan jenis tanah ultisol (Lumbanraja, dkk, 2023).

Bahan dan Alat

Berbagai alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi alat pembersih dan alat pengolahan tanah. Bahan yang digunakan meliputi benih kacang tanah varietas Takar Dua, pupuk kandang sapi, MOL bonggol pisang, *Decis* 25 EC, *Dithane* M-45, dan air.

Metode Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian ini digunakan Rancangan Acak Kelompok Faktorial dengan dua faktor perlakuan. Faktor pertama adalah pemberian pupuk kandang sapi (S) dengan 4 taraf yaitu: S₀ (0 kg/petak (kontrol)), S₁ (5 ton/ha setara dengan 0,75 kg/petak), S₂ (15 ton/ha setara dengan 2,25 kg/petak), dan S₃ (20 ton/ha setara dengan 3 kg/petak (dosis anjuran)). Faktor kedua adalah pemberian larutan mikroorganisme lokal bonggol pisang (A) terdiri dari 3 taraf perlakuan yaitu: A₀ (0 ml/petak (kontrol)), A₁ (25 ml/petak), dan A₂ (50 ml/petak (dosis anjuran)). Petak percobaan berukuran 1 m x 1,5 m dengan jarak tanam 0,25 m x 0,25 m.

Parameter Pengamatan

Parameter yang diuji dalam penelitian ini meliputi tinggi tanaman, jumlah polong pertanaman, jumlah polong per petak, produksi biji kering per petak, produksi biji kering per hektar dan jumlah bintil akar. Pengambilan sampel dari masing-masing parameter dilakukan dengan menentukan tanaman sampel pada masing-masing petak percobaan. Setiap parameter dengan hasil uji F yang berbeda nyata atau sangat nyata dilanjutkan dengan uji jarak BNT.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tinggi Tanaman Kacang Tanah

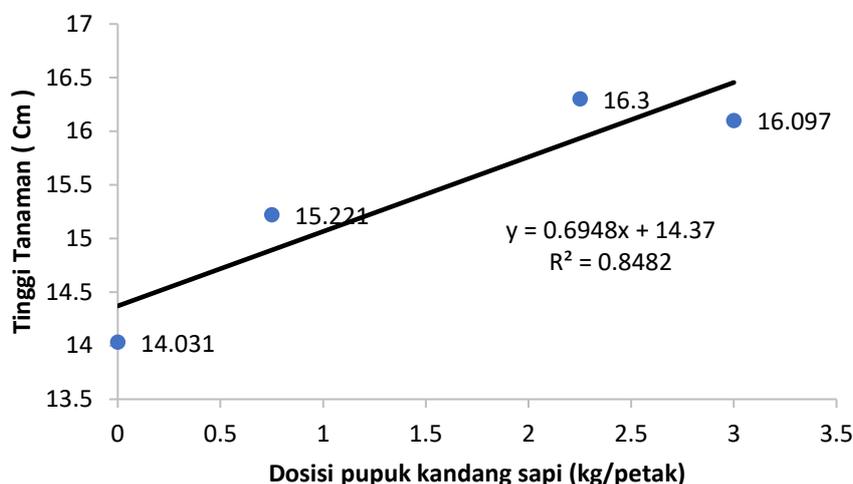
Pemberian pupuk kandang sapi secara konsisten memberikan hasil pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan tinggi tanaman kacang tanah saat pengamatan yang dilakukan selang dua minggu sekali sebagaimana terlihat dari data Tabel 1 tersebut bahwa aplikasi perlakuan pupuk kandang sapi tersebut pada umur 4, umur 6 dan umur 8 MST.

Tabel 1. Pengaruh Pemberian Pupuk Kandang Sapi dan Mikroorganisme Lokal Terhadap Parameter Pengamatan Tinggi Tanaman Kacang Tanah.

Dosis Pukan Sapi (t//ha)	Dosis MOL Bonggol Pisang (ml/l)			Rataan (cm)
	A ₀ : 0 ml/petak (kontrol)	A ₁ : 25 ml/petak	A ₂ : 50 ml/petak	
Tinggi Tanaman Kacang Tanah 4 MST (cm)				
S ₀ : 0 kg/petak (kontrol))	13.43	15.28	13.39	14.03a
S ₁ : 5 ton/ha (0,75 kg/petak)	15.01	16.34	14.31	15.22ab
S ₂ : 15 ton/ha (2,25 kg/petak)	15.48	16.79	16.63	16.30b
S ₃ : 20 ton/ha (3 kg/petak)	15.64	15.48	17.17	16,10ab
Rataan (cm)	14.89	15.97	15.37	
Rataan Tinggi Tanaman 6 MST (cm)				
S ₀ : 0 kg/petak (kontrol))	26.79	28.37	26.02	27.060a
S ₁ : 5 ton/ha (0,75 kg/petak)	28.95	30.10	28.61	29.222ab
S ₂ : 15 ton/ha (2,25 kg/petak)	29.47	32.88	30.88	31.076b
S ₃ : 20 ton/ha (3 kg/petak)	28.92	31.30	30.16	30.127b
Rataan (cm)	28.53	30.66	28.92	
Rataan Tinggi Tanaman 8 MST (cm)				
S ₀ : 0 kg/petak (kontrol))	43.96	45.44	42.03	43.81a
S ₁ : 5 ton/ha (0,75 kg/petak)	46.05	45.64	45.81	45.83ab
S ₂ : 15 ton/ha (2,25 kg/petak)	46.65	51.27	46.53	48.15b
S ₃ : 20 ton/ha (3 kg/petak)	47.31	49.03	47.87	48.07b
Rataan (cm)	45.99	47.84	45.56	

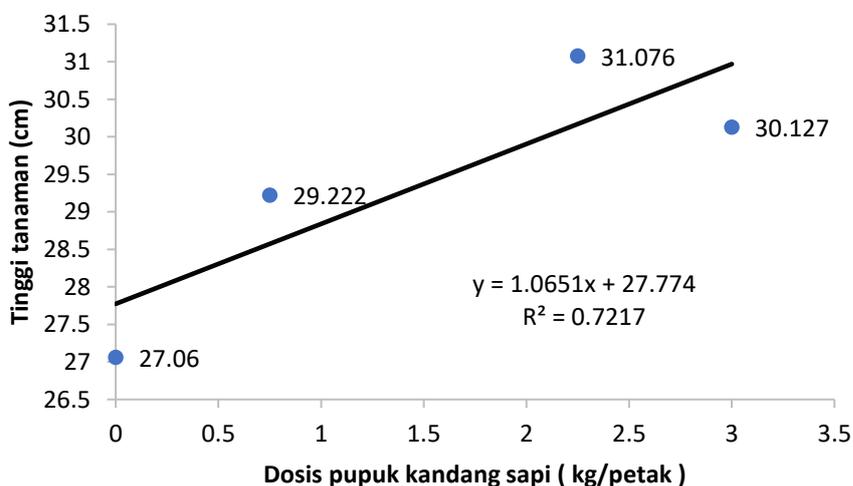
Keterangan: Angka dengan huruf yang berbeda pada baris atau kolom, signifikan pada taraf $\alpha = 0.05$ (disimbolkan dengan huruf kecil) berdasarkan uji jarak BNT; dan angka yang tidak disertai huruf tidak nyata dan tidak dilanjutkan dengan uji BNT.

Pemberian pupuk kandang sapi secara konsisten memberikan hasil pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan tinggi tanaman kacang tanah saat pengamatan yang dilakukan selang dua minggu sekali sebagaimana terlihat dari data Tabel 1 tersebut bahwa aplikasi perlakuan pupuk kandang sapi tersebut pada umur 4, umur 6 dan umur 8 MST. Kuatnya pengaruh tersebut digambarkan dalam persamaan $Y = 0,69 X + 14,37$ dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,84$ dengan koefisien korelasi sebesar kurang lebih 92 % yang berarti pengaruh pemberian pupuk kandang sapi tersebut berkisar pada 92 % dan hanya 8 % saja yang merupakan pengaruh faktor lainnya untuk pengamatan 4 MST, sebagaimana terlihat pada Gambar 1.



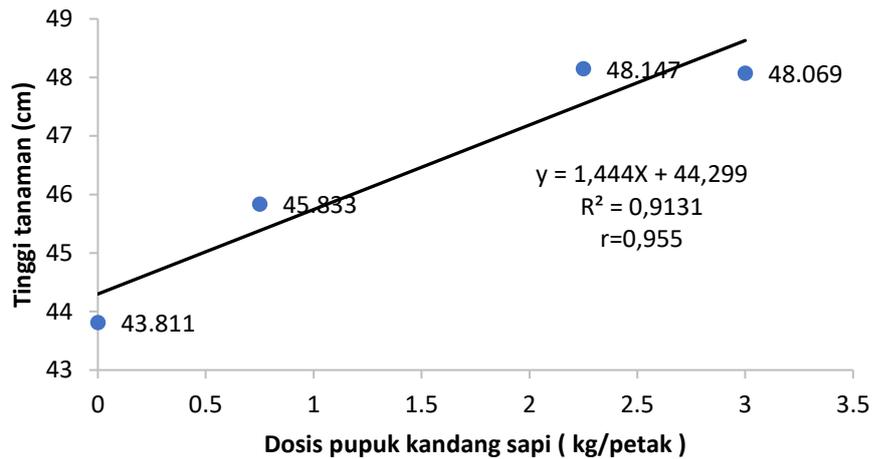
Gambar 1. Kurva Hubungan Pemberian Pupuk Kandang Sapi Terhadap Tinggi Tanaman Kacang Tanah Pada Umur 4 MST

Pada pengamatan enam minggu setelah tanam hubungan pengukuran tinggi tanaman dengan perlakuan pemberian pupuk kandang sapi digambarkan dengan persamaan $Y = 1,06 X + 22,77$ koefisien determinasi $R^2 = 0,72$ untuk pengamatan saat umur 6 MST sebagaimana terlihat pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Kurva Hubungan Pemberian Pupuk Kandang Sapi Terhadap Tinggi Tanaman Kacang Tanah Pada Umur 6 MST

Pengaruh perlakuan pupuk kandang sapi untuk pengamatan tanaman saat umur 8 MST adalah $Y = 1,44 X + 44,29$ dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,91$ sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 3. Dari data tersebut terlihat bahwa pengaruh perlakuan tersebut menggambarkan bahwa pemberian bahan organik berupa pupuk kandang sapi ke dalam tanah ultisol salingingkar memberikan pengaruh yang positif terhadap pertumbuhan tanaman kacang tanah pada umur tanaman yang diamati.



Gambar 3. Grafik Hubungan Pemberian Pupuk Kandang Sapi Terhadap Tinggi Tanaman Kacang Tanah Pada Umur 8 MST

Data-data pengamatan pengaruh perlakuan pupuk kandang sapi terhadap tinggi tanaman pada waktu pengamatan yang berbeda memperlihatkan hasil yang berbeda, tentunya hal tersebut dipengaruhi juga kondisi cakupan perakaran tanaman yang semakin luas dengan bertambahnya umur tanama sebagaimana telah diutarakan peneliti sebelumnya (Hartatik dan Widowati, 2006; Lumbanraja dan Harahap, 2015). Dosis aplikasi pemberian pupuk kandang sapi sangat berperan seiring dengan waktu pertambahan umur tanaman, terlihat pada data Tabel 1, bahwa tinggi tanaman 4 MST pengaruh terbaik terjadi saat aplikasi pupuk kandang sapi setara dengan 15 t/ha, sedangkan pada tinggi tanaman saat berumur 6 dan umur 8 MST pengaruh terbaik terjadi saat aplikasi pupuk kandang sapi setara dengan 15 dan 20 t/ha. Adanya perbedaan pengaruh aplikasi antar dosis aplikasi yang diberikan dan juga yang terjadi antar umur pengamatan yang berbeda, tentunya perbedaan tersebut dipengaruhi oleh kondisi kedalaman perakaran yang berbeda pada umur tanaman saat masing-masing pengamatan. Hal kondisi perakaran tanaman tersebut mutlak harus dipertimbangkan, sebagaimana pada dasarnya kondisi panjang akar yang terus bertambah dengan pertambahan umur tanaman sudah tentu sangat berdampak kepada luasnya daerah cakupan akar tanaman dalam mendapatkan nutrisi, air dan lain sebagainya keperluan hidup tanaman tersebut. Selain luas daerah cakupan perakaran, faktor kedalaman perakaran juga tentunya pasti akan semakin dalam dengan semakin bertambah panjangnya perakaran tanaman bertumbuh ke dalam tanah. Jadi faktor luas dan kedalaman kondisi perakaran tanaman dengan bertambahnya umur tanaman yang diamati seperti pada data hasil pengamatan tersebut menjadi jelas pengaruhnya nyata sebagaimana tertera pada Tabel 1 tersebut. Tinggi dan bervariasinya kadar unsur hara yang terkandung di dalamnya sebagaimana data hasil penelitian Lumbanraja dan Harahap (2015) secara logika, pengaruh tersebut akan memberikan dampak yang semakin baik dengan adanya pemberian pupuk kandang sapi yang berulang, sehingga pada akhirnya pengaruh tersebut secara akumulatif memperbaiki kondisi tanah secara lengkap (dalam hal ini secara lengkap maksudnya adalah bahwa bahan tersebut memperbaiki kondisi tanah secara fisika, kimia maupun secara biologi). Ketiga persamaan pengukuran tinggi tanaman yang ada seperti pada Gambar 1, 2 dan 3 di atas, memperlihatkan sifat yang masih linier positif, yang berarti belum terjadi titik balik terhadap dosis yang diberikan, dengan kata lain dosis optimum pemberian taraf pupuk kandang sapi belum terjadi pada taraf aplikasi hingga pemberian setara dengan aplikasi 20 t/ha, meskipun terlihat juga dari bahwa pengaruh determinasi terkuat dari pupuk kandang sapi terjadi saat pengamatan 4 MST. Terjadi penurunan pengaruh determinasi pupuk pada pengamatan 6 MST dan lalu kemudian naik kembali kepada determinasi tertinggi pada umur tanaman 8 MST.

Parameter Jumlah Polong, Produksi Biji, dan Jumlah Bintil Akar Tanaman Kacang Tanah

Dari hasil penelitian ini diperoleh juga data pengaruh perlakuan terhadap parameter generatif tanaman seperti terhadap parameter jumlah polong tanaman (Tabel 2). Data penelitian memperlihatkan bahwa pemberian perlakuan mikroorganisme lokal sebagai perlakuan tunggal maupun pemberian pupuk kandang sapi sebagai perlakuan tunggal maupun secara bersamaan sebagai perlakuan kombinasi tidak memperlihatkan adanya pengaruh yang signifikan sebagaimana terlihat pada hasil pengamatan jumlah

polong kacang tanah pada pengamatan pertanaman maupun per petak tanam. Meski tidak ada pengaruh yang signifikan terhadap parameter ini, tetapi trend atau kecenderungan parameter jumlah polong tersebut menunjukkan adanya kecenderungan terjadi peningkatan jumlah polong dengan meningkatnya aplikasi pemberian pupuk kandang sapi, dengan hasil jumlah polong kacang tanah tertinggi terjadi pada taraf aplikasi bahan pupuk kandang sapi dengan aplikasi bahan pupuk kandang sapi sebesar setara dengan pemberian taraf 20 t/ha. Kecenderungan hasil data pengamatan tersebut terjadi secara konsisten pada jumlah sampel polong per tanaman maupun jumlah polong tanaman sebagai total tanaman per petak pertanaman.

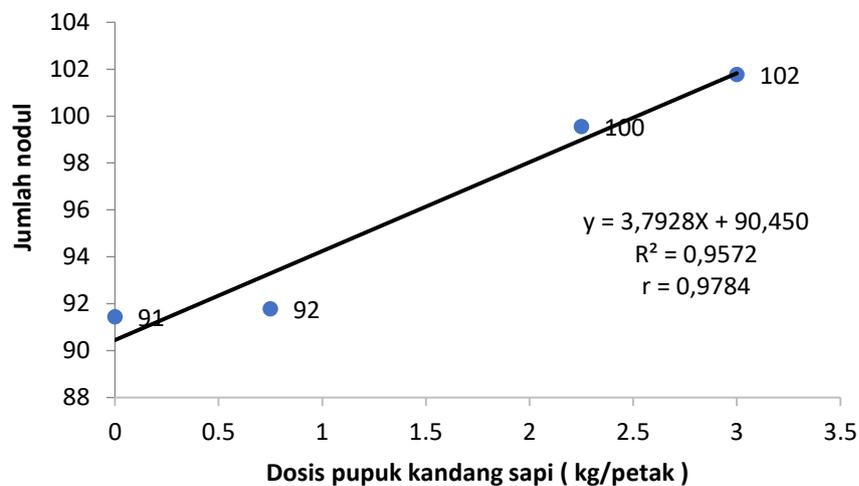
Tabel 2. Pengaruh Pupuk Kandang Sapi dan Mikroorganisme Lokal Terhadap Parameter Jumlah Bintil Akar, Jumlah Polong dan Produksi Biji Tanaman Kacang Tanah.

Dosis Pukan Sapi (t//ha)	Dosis MOL Bonggol Pisang (ml/l)			Rataan (cm)
	A ₀ : 0 ml/petak (kontrol)	A ₁ : 25 ml/petak	A ₂ : 50 ml/petak	
Rataan Jumlah Polong per Tanaman (buah)				
S ₀ : 0 kg/petak (kontrol))	14.73	14.53	14.73	14.53
S ₁ : 5 ton/ha (0,75 kg/petak)	14.47	14.47	14.47	14.47
S ₂ : 15 ton/ha (2,25 kg/petak)	14.40	15.93	14.40	15.93
S ₃ : 20 ton/ha (3 kg/petak)	16.68	16.68	16.68	16.68
Rataan (cm)	15.07	15.40	15.07	15.40
Rataan Jumlah Polong per Petak (buah)				
S ₀ : 0 kg/petak (kontrol))	175.67	160.33	175.67	160.33
S ₁ : 5 ton/ha (0,75 kg/petak)	152.33	182.00	152.33	182.00
S ₂ : 15 ton/ha (2,25 kg/petak)	170.33	196.67	170.33	196.67
S ₃ : 20 ton/ha (3 kg/petak)	201.67	195.00	201.67	195.00
Rataan (cm)	175.00	183.50	175.00	183.50
Rataan Produksi Biji Kering Per Petak (g/petak)				
S ₀ : 0 kg/petak (kontrol))	153.67	138.00	153.67	138.00
S ₁ : 5 ton/ha (0,75 kg/petak)	131.67	159.33	131.67	159.33
S ₂ : 15 ton/ha (2,25 kg/petak)	156.00	172.00	156.00	172.00
S ₃ : 20 ton/ha (3 kg/petak)	111.67	176.67	111.67	176.67
Rataan (cm)	138.25	161.50	138.25	161.50
Rataan Produksi Biji Kering Per Hektar (t/ha)				
S ₀ : 0 kg/petak (kontrol))	3.07	3.09	3.11	3.09
S ₁ : 5 ton/ha (0,75 kg/petak)	2.63	2.85	3.15	2.88
S ₂ : 15 ton/ha (2,25 kg/petak)	3.12	3.44	2.72	3.09
S ₃ : 20 ton/ha (3 kg/petak)	2.23	3.53	2.88	2.88
Rataan (cm)	2.76	3.23	2.96	
Rataan Jumlah Bintil Akar (buah)				
S ₀ : 0 kg/petak (kontrol))	92.00	94.33	88.00	91.44a
S ₁ : 5 ton/ha (0,75 kg/petak)	98.33	89.67	87.33	91.78a
S ₂ : 15 ton/ha (2,25 kg/petak)	93.00	101.67	104.00	99.56ab
S ₃ : 20 ton/ha (3 kg/petak)	105.00	102.00	98.33	101.78b
Rataan (cm)	97.08	96.92	94.41	

Keterangan: Angka dengan huruf yang berbeda pada baris atau kolom, signifikan pada taraf $\alpha = 0.05$ (disimbolkan dengan huruf kecil) berdasarkan uji jarak BNT; dan angka yang tidak disertai huruf tidak nyata dan tidak dilanjutkan dengan uji BNT.

Data hasil penelitian yang memperlihatkan bahwa pengaruh perlakuan pemberian mikroorganisme lokal hanya memberikan data pengaruh yang acak saja. Namun demikian perlu diingat bahwa dampak yang terjadi tidak sampai pada tingkat yang menurunkan terhadap jumlah parameter pengamatan. Perlu diingat bahwa secara teori kehadiran mikrobia lokal tersebut didalam tanah tempat penelitian diuji sangat penting, setidaknya untuk meningkatkan jumlah mikrobia bermanfaat di dalam tanah dan yang jelas tidak memberi pengaruh yang merugikan terhadap seluruh parameter pengamatan yang dilakukan. Ada hal yang perlu mendapat perhatian dari parameter pengamatan ini, terlihat dari hasil penelitian yang disajikan pada Tabel 2, yang memperlihatkan bahwa jumlah polong kacang tanah yang terbentuk meski tidak signifikan terjadi bersamaan dengan saat jumlah bintil akar tertinggi yang terjadi pada saat aplikasi pupuk kandang sapi setara dengan pemberian aplikasi sebesar 20 t/ha.

Hasil pengamatan parameter jumlah bintil akar yang telah dilakukan menunjukkan bahwa aplikasi pupuk kandang sapi hingga taraf pemberian aplikasi bahan setara dengan 20 t/ha memperlihatkan dampak atau efek pengaruh yang nyata terhadap peningkatan jumlah bintil akar tanaman kacang tanah. Besarnya pengaruh yang terjadi digambarkan dengan persamaan berikut $Y = 3,79 X + 90,45$ (Gambar 4) dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,95$, yang berarti bahwa 95 % peningkatan jumlah bintil akar tanaman yang terbentuk merupakan pengaruh dari aplikasi pemberian pupuk kandang sapi tersebut sedangkan sisanya sebesar 5% merupakan efek pengaruh dari faktor lain yang tidak terdeteksi dalam percobaan ini.



Gambar 4. Grafik Hubungan Pemberian Pupuk Kandang Sapi terhadap Jumlah Bintil Akar Tanaman Kacang Tanah

Pengaruh hal lain tersebut sebagaimana telah dijelaskan oleh peneliti terdahulu Biolibretexts (2023) yang menyatakan bahwa pembentukan bintil akar diinisiasi oleh tanaman inang dengan mengeluarkan bahan kimia tertentu kedalam tanah secara spesifik disebut Lektin (Rao, 1984). Lektin tersebut sangat khas sifatnya dari setiap jenis tanaman kacang-kacangan yang berbeda, dengan demikian setiap tanaman kacang-kacangan akan mempunyai simbiosis pemfiksasi N yang khas juga. Secara umum bahan-bahan sekresi akar tanaman ini lebih umum sering kita kenal dengan sebutan eksudat akar (*root exudate*) yang khas pada setiap jenis tanaman legum yang secara spesifik diketahui khasan tersebut dikenal dengan sebutan bahan lektin sebagaimana telah diutarakan sebelumnya. Walker, *et al.*, (2003) telah mencoba menguraikan bahwa bahan-bahan eksudat akar tanaman yang dikeluarkan tumbuhan ini merupakan suatu bahan organik yang menjadi bahan yang dapat menyediakan karbon tambahan yang memungkinkan rizosfer menampung berbagai macam organisme. Bahan-bahan ini secara teori sering dikelompokkan ke dalam lima kategori, yaitu: eksudat, sekresi, lendir, mucigel, dan lisat. Eksudat ini termasuk bahan yang mengandung kelebihan gula, asam amino, dan aromatik yang berdifusi keluar sel ke ruang antar sel dan tanah di daerah sekitar perakaran tanaman tersebut. Karena sifat difusifnya, eksudat terbatas pada senyawa dengan berat molekul yang rendah saja. Sekresi adalah merupakan bahan produk sampingan dari aktivitas metabolisme yang berlangsung pada perakaran tanaman. Karena mereka dilepaskan secara aktif dari dalam sel, bahan sekresi tersebut dapat memiliki berat molekul yang rendah maupun dengan berat molekul yang tinggi. Ketika sel akar epidermis mati dan terbuka, lisat dari dalam sel menjadi tersedia untuk dikonsumsi oleh komunitas mikroba yang berada di sekitar perakaran tanaman tersebut. Lendir (*mucilages*) adalah sel-sel yang terkelupas dari tudung akar saat akar tumbuh, dengan demikian setiap perubahan saat pertumbuhan tanaman seiring dengan setiap penambahan waktu tetap

terjadi perubahan di sekitar daerah perakaran tanaman tersebut. Kekuatan abrasif akar terhadap partikel tanah bertanggung jawab untuk menghilangkan kulit tipis atau dinding terluar dari sel akar tanaman tersebut. Sel-sel ini terdiri dari selulosa, pektin, pati, dan lignin. *Mucigel* adalah lendir pada permukaan akar tanaman yang melapisi permukaan akar yang meningkatkan konektivitas antara akar tanaman dan tanah di sekitarnya. Ini lebih sering terjadi pada bagian utama akar dan rambut akar daripada ujungnya. Selama musim kemarau, *mucigel* bertanggungjawab untuk membiarkan tanaman terus menyerap air dan nutrisi (Silvia, 2005). Dalam literatur lainnya sering senyawa-senyawa tersebut digolongkan menjadi eksudat akar secara tradisional dikelompokkan menjadi senyawa M_r rendah dan tinggi (*Root exudates have traditionally been grouped into low- and high- M_r compounds*) (Walker, et al., 2003). M_r rendah seperti asam amino, asam organik, gula, fenolat, dan berbagai metabolit sekunder lainnya diyakini merupakan mayoritas eksudat akar, sedangkan eksudat dengan M_r tinggi terutama mencakup lendir (polisakarida dengan M_r tinggi) dan protein. M untuk berat molekul, r untuk relatif, jadi molekul yang lebih kecil dan lebih besar untuk M_r rendah dan tinggi.

Jumlah bintil akar tertinggi terjadi pada saat aplikasi pupuk dengan taraf aplikasi setara dengan 20 t/ha perhatikan Gambar 4. Pengaruh ini bersesuaian dengan penjelasan The Mosaic Company (2016) dan Sylvia, et al. (2005) sebagaimana telah diuraikan sebelumnya. Dari penelitian ini diperoleh bahwa kehadiran bahan organik pupuk kandang sapi memberikan pengaruh yang positif terhadap pembentukan bintil akar tanaman kacang tanah. Hasil penelitian ini juga memberi gambaran bahwa kehadiran mikroorganisme lokal di dalam tanah percobaan tidak menunjukkan sesuatu afinitas yang berpengaruh atau berdampak negatif terhadap jumlah bintil akar yang terbentuk.

Sangat kontras berbeda dengan kehadiran bahan organik pupuk kandang sapi dengan segala manfaatnya dalam tanah yang dengan nyata memberikan pertambahan jumlah pembentukan bintil akar yang begitu signifikan (Hartatik dan Widowati, 2006; Lumbanraja dan Harahap, 2015). Hasil ini atas penelusuran teoritis dari berbagai hasil penelitian membuktikan bahwa data hasil penelitian ini sesuai dengan apa yang telah diutarakan sebelumnya oleh peneliti terdahulu bahwa memang kehadiran bahan organik dalam tanah berperan dalam proses pembentukan nodula atau bintil akar tanaman kacang tanah (Kumalasari, dkk., 2013). Dari data parameter pengamatan pada Tabel 2, terlihat dari hasil meski tidak signifikan jumlah bintil akar tertinggi yang terjadi pada saat aplikasi pupuk kandang sapi setara dengan pemberian aplikasi sebesar 20 t/ha dan juga memberikan jumlah tertinggi polong kacang tanah yang terbentuk dengan tingkat determinasi yang cukup besar 95 % yang menyiratkan bahwa hanya 5% saja pengaruh faktor lain. Hasil tersebut juga menunjukkan tingkat korelasi yang tinggi pula yang berada pada besaran 97%.

Dari hasil penelitian ini terlihat bahwa pengaruh perlakuan yang diaplikasikan, baik mikroorganisme lokal maupun pupuk kandang sapi sebagai perlakuan tunggal maupun sebagai perlakuan kombinasi terhadap produksi biji kacang tanah tidak memberikan pengaruh yang nyata (Tabel 2). Sebagaimana hasil dari penelusuran lewat beberapa pustaka hasil penelitian terdahulu diketahui bahwa seperti yang telah diutarakan dalam hasil penelitian sebelumnya, ternyata sebagaimana yang diperoleh dari hasil penelitian menurut Burdass and Hurst (2002) hanya sebagian saja, dalam hal ini berkisar pada 60% saja dari gas nitrogen yang difiksasi secara biologi yaitu atas dasar simbiosis tanaman legum dengan rhizobium tersebut yang dapat berguna mensuplai kebutuhan N tanaman. Perlu juga diingat bahwa pada nyatanya disaat proses fiksasi tersebut berlangsung harus disadari kenyataan bahwa mikrobia pelaku fiksasi tersebut juga memerlukan sejumlah energi yang juga merupakan hasil fotosintesa tanaman inangnya sendiri dalam hal ini kacang tanah yang sedang dibicarakan. Hal ini memberi gambaran bahwa saat berlangsungnya proses fiksasi nitrogen tersebut mikrobia pelaku fiksasi memerlukan energi yang cukup besar, begitu juga proses enzimatik yang rumit yang tentunya semua itu didapat oleh mikrobia tersebut dari satu sumber yang sama yaitu dari tanaman host yang dalam hal ini tanaman kacang tanah. Sebagai gambaran ternyata dalam rangkaian proses fiksasi N dari udara yang dilakukan melalui serangkaian urutan proses, setelah difiksasi dari udara bebas oleh tanaman yang selanjutnya untuk mereduksi gas nitrogen menjadi amoniak memerlukan 16 molekul ATP dan sejumlah kompleks enzim untuk memecahkan ikatan gas nitrogen supaya dapat bersenyawa dengan hidrogen (Masepohl et al., 2002).

Penjelasan tersebut seolah-olah mengingatkan kita bahwa besarnya fiksasi nitrogen akan bisa jadi menjadi negative dampaknya terhadap produksi biji, mengingat bahwa sumber energi yang diperlukan *Rhizobium* dalam bintil akar tersebut diperoleh dari hasil fotosintesa tanaman atau yang sering juga kita kenal dengan sebutan fotosintat. Suharno (2014) menyatakan bahwa kehadiran *Rhizobium* tidak selalu memberikan pengaruh atau dampak meningkatkan produksi biji bagi tanaman. Hal ini bisa menjadi tidak optimal yang mungkin terjadi pada kondisi atau sampai pada tingkat tertentu pada saat tingkat yang mana

hasil dari fiksasi yang terjadi belum menyumbangkan jumlah fiksasi yang optimal untuk memenuhi keperluan N tanaman kacang-kacangan yang diusahakan. Sebagaimana dari hasil penelitian ini terbukti bahwa hasil biji kering tanaman kacang tanah yang dihasilkan seperti tertera pada Tabel 2, terjadi penurunan hasil biji sebesar 6,79% produksi biji kacang tanah pada jumlah bintil akar tertinggi dibandingkan dari hasil biji tertinggi pada saat jumlah bintil akar menurun. Penurunan hasil biji ini tentunya tidak bisa dianggap enteng. Karena seharusnya lah hasil biji harus meningkat dengan semakain tingginya jumlah N udara yang difiksasi tanaman guna memenuhi kebutuhan N tanaman tersebut. Dengan hasil biji yang menurun pada saat jumlah bintil akar tanaman yang terbentuk meningkat, fakta ini akan menjadi suatu pemicu dalam mendapatkan jawaban terhadap hal tersebut tentunya melalui penelitian lain yang dirancang untuk tujuan tersebut secara khusus. Supaya jangan terjadi salah kaprah terhadap kejadian hasil penelitian ini, dirasa perlu mengingat kembali bahwa proses fiksasi N oleh tanaman kacang-kacangan memerlukan berbagai langkah atau tahapan proses. Atas dasar uraian sebelumnya (Rao, 1984; Walker, *et al.*, 2003 maupun Masepohl *et al.*, 2002) harus dipahami bahwa dalam setiap langkah proses fiksasi tersebut hanya ada satu sumber bahan energi yang diperlukan microbia pemfiksasi yang berasal dari hasil fotosintesis atau fotosintat yang dihasilkan tanaman itu sendiri. Seperti yang terjadi dalam hasil penelitian ini bahwa pada saat aplikasi perlakuan dengan jumlah bintil akar meningkat bersamaan dengan hasil biji yang berkurang yang merupakan gambaran bahwa sumbangan dari kegiatan proses fiksasi N dengan meningkatnya jumlah bintil atau nodula akar yang terbentuk menunjukkan hasil biji yang menurun sebagaimana telah diduga pada penjelasan sebelumnya. Hasil tersebut bukan hendak mengemukakan bahwa bertambahnya jumlah nodul atau bintil akar yang terbentuk mengakibatkan penurunan hasil biji kacang-kacangan yang dihasilkan tanaman, tetapi hanya mau menegaskan bahwa terkadang terjadi beberapa kondisi yang memungkinkan terjadinya penurunan hasil biji sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya. Secara ringkas harus ditekankan kembali batasan pemahaman bahwa sumbangan dari N hasil fiksasi tersebut masih hanyalah merupakan satu faktor saja dari berbagai faktor yang turut mempengaruhi pertumbuhan dan hasil produksi biji tanaman kacang tanah yang sedang kita bicarakan. Hal ini terjadi bisa juga merupakan hal yang mengingatkan kita bahwa kehadiran atau pembentukan nodula atau bintil akar tersebut hanyalah merupakan satu hal dari banyak hal yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman ini, bahkan pembentukan bintil akar itu sendiri dapat dikatakan sebagai bagian dari pertumbuhan tanaman itu sendiri. Hanya perlu diingat bahwa besarnya hasil fotosintesa yang menjadi penyedia kebutuhan energi bakteri pemfiksasi juga turut sangat ditentukan oleh pengaruh berbagai macam faktor lingkungan tumbuh seperti: cahaya, luas daun, CO₂, kelembaban atau kadar air tanah, kondisi fase pertumbuhan tanam sejalan dengan yang telah dijelaskan sebelumnya. Hanya dengan dan atas pemahaman mendasar yang demikian ini lah konsep pemikiran tersebut bisa dipahami bahwa pembentukan bintil akan tanaman pada kacang-kacangan boleh jadi proses tersebut akan paling pesat terjadi pada saat tanaman berada pada saat kondisi fase vegetatif, lalu kemudian menurun pada saat mulai terjadi pembentukan biji hingga tanaman di panen. Dengan demikian melalui serangkaian kutipan teori dan penjelasan yang diberikan, kiranya sudah terjawab kenapa hasil biji tertinggi pada penelitian ini tidak bersamaan dengan terjadinya jumlah bintil akar tertinggi.

Hal yang perlu mendapat penekanan dari hasil penelitian ini adalah bahwa terjadi pengaruh yang berbeda antara pengaruh perlakuan yang sama yaitu aplikasi pupuk kandang sapi terhadap jumlah polong tanaman dengan besarnya produksi hasil biji kering kacang tanah yang dihasilkan. Perbedaan pengaruh dimaksud adalah bahwa tidak seperti pengaruh perlakuan aplikasi pupuk kandang sapi setara dengan 20t/ha terhadap jumlah polong tanaman yang terbentuk dibandingkan dengan besarnya hasil biji kering kacang tanah yang dihasilkan. Sebagaimana yang dapat kita amati dari data parameter pengamatan pada Tabel 2, terlihat bahwa hasil jumlah polong tanaman kacang tanah meski tidak signifikan tetapi terjadi bersamaan dengan terjadinya jumlah bintil akar tertinggi yang terjadi pada saat aplikasi pupuk kandang sapi setara dengan pemberian aplikasi sebesar 20 t/ha tersebut dan juga memberikan jumlah tertinggi polong kacang tanah yang terbentuk. Tentunya hasil ini merupakan hal yang logis saja bisa terjadi, sebagaimana diketahui bahwa besarnya ukuran biji tanaman kacang tanah yang terbentuk akan sangat bervariasi ukurannya yang sekaligus mempengaruhi berat biji kacang tanah per setiap biji kacang tanah.

Sebagaimana juga telah diutarakan dalam uraian atau penjelasan sebelumnya atas dasar pemahaman akan hasil penelitian sebelumnya (Rao, 1984; Walker, *et al.*, 2003 maupun Masepohl *et al.*, 2002) telah dinyatakan bahwa hal tersebut diduga ada kaitannya dengan pengaruh pemenuhan kebutuhan energi mikroba pelaku fiksasi N bersamaan dengan keperluan hasil fotosintesa yang sama untuk pemenuhan pengisian biji pada polong tanaman yang terbentuk. Jika dugaan ini secara teori dapat diterima, berarti seolah-olah ada persaingan semu antara pemenuhan kebutuhan energi dari mikroba pelaku fiksasi N bebas dari udara yang dalam hal ini adalah sama dengan yang dibutuhkan tanaman kacang

tanah yang juga harus mengisi biji pada polong kacang tanah pada waktu yang bersamaan juga, yaitu sumber dimaksud adalah hanya satu-satunya bagi kedua kebutuhan tersebut yaitu hasil fotosintesa tanaman yang sering dikenal dengan sebutan fotosintat. Dari asumsi ini, benarliah apa yang telah diutarakan sebelumnya bahwa faktor pemenuhan N tanaman hanyalah merupakan satu bagian saja dari berbagai faktor yang diperlukan tanaman dalam tumbuh kembangnya hingga menghasilkan produksi biji, beberapa hal tersebut tentunya adalah merupakan berbagai proses yang mendukung terhadap optimalnya proses fotosintesa pada tanaman. Memang dalam penelitian lapangan seperti ini adalah sangat tidak mungkin atau adalah mustahil mengoptimalkan setiap faktor pertumbuhan tanaman yang mendukung seluruh proses tersebut dengan optimal. Hanya jika dalam kondisi yang terkontrol penuh dan dengan kondisi pengaturan media tanam yang dilengkapi dengan teknologi tinggi yang mungkin akan dapat mendukung diperolehnya suatu hasil penelitian yang mumpuni. Atas kesadaran terhadap pemahaman adanya persaingan atau kompetisi dalam hal fotosintat, maka perlu upaya pola tanam khususnya bagi tanaman kacang-kacangan yang mampu menambat N bebas dari udara untuk memenuhi sebagian besar keperluan N-nya. Sangat perlu menjadikan pola pertanaman yang mendukung terhadap seluruh faktor pertanaman yang mendukung terhadap untuk sanggup meningkatkan proses fotosintesa tanaman demi meningkatkan fotosintat hingga pada taraf yang memadai mencegah kompetisi semu tadi terhadap keperluan fotosintat. Hanya dengan cara pertanaman kacang-kacangan dengan jaminan proses fotosintesa yang optimal, barulah akan ada kemungkinan terjadi hasil biji yang tinggi akan bersamaan dengan terbentuknya bintil akar tanaman tentunya perlu hasil fotosintat yang memadai untuk mencukupi kedua kebutuhan tersebut dengan optimal pula. Hanya dengan asumsi kondisi optimal tersebut dapat dipenuhi, barulah dapat tercapai produksi maksimal diperoleh dengan terjadinya pembentukan bintil akar yang maksimal secara bersamaan. Hal pemenuhan proses fotosintesa yang optimal tersebut menjadi sesuatu yang perlu mendapat focus dengan tanaman ini dalam upaya untuk menghindari persaingan pemenuhan energi keperluan mikrobia pelaku fiksasi N dengan pemenuhan pengisian biji tanaman pada saat yang bersamaan. Karena hanya fotosintat yang satu-satunya menjadi sumber untuk pemenuhan pengisian biji dan pemenuhan energi mikrobia dalam bintil akar pada waktu yang bersamaan, sebagaimana telah diutarakan sebelumnya bahwa tanaman ini kurang efisien dalam hal fotosintesa, berbeda dengan tanaman C4 yang mempunyai efisiensi fotosintesa yang lebih tinggi (Sundari dan Purwantoro, 2014).

KESIMPULAN

Berdasarkan uraian dari hasil penelitian ditarik kesimpulan:

1. Pupuk kandang sapi nyata meningkatkan tinggi tanaman (koefisien determinasi 84-91%) maupun jumlah nodul (koefisien determinasi mencapai 95%), tetapi tidak terhadap produksi biji per petak maupun produksi biji per hektar.
2. Mikroorganismes lokal sebagai perlakuan tunggal tidak berpengaruh nyata terhadap tinggi tanaman, jumlah nodul, dan produksi biji per hektar.
3. Perlakuan kombinasi pupuk kandang sapi dengan mikroorganismes lokal berpengaruh tidak nyata terhadap parameter yang diamati.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina Hotmaria. 2012. Proses Fiksasi Nitrogen oleh Bintil Akar. <http://hotmariaagustina.blogspot.com/2012/09/proses-fiksasi-nitrogen-oleh-bintil.html>.
- Biolibretexts. 2023. The Legume-Root Nodule Symbiosis. [https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Microbiology/Microbiology_\(Boundless\)/16%3A_Microbial_Ecology/16.05%3A_Microbial_Symbioses/16.5G%3A_The_Legume-Root_Nodule_Symbiosis](https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Microbiology/Microbiology_(Boundless)/16%3A_Microbial_Ecology/16.05%3A_Microbial_Symbioses/16.5G%3A_The_Legume-Root_Nodule_Symbiosis).
- Burdass, D and Janet Hurst. 2002. Rhizobium, Root Nodules & Nitrogen Fixation, SGM Marlborough House, Basingstoke Road, Spencers Wood, Reading RG7 1AG; Society for General Microbiology email education@sgm.ac.uk. file:///D:/Rhizobium,RootNodules&NitrogenFixation_Burdass2002.pdf

- Kumalasari Ika Dyah; Endah Dwi Astuti dan Erma Prihastanti. 2013. Pembentukan Bintil Akar Tanaman Kedelai (*Glycine max* (L) Merrill) dengan Perlakuan Jerami pada Masa Inkubasi yang Berbeda. *Laboratorium Biologi Struktur dan Fungsi Tumbuhan Jurusan Biologi Fakultas Sains dan Matematika UNDIP. Jurnal Sains dan Matematika Vol. 21 (4): 103-107 (2013).*
- Cegelski, L., C.L. Smith dan S.J. Hultgren. 2009. *Microbial Adhesion. Environmental Microbiology and Ecology in Encyclopedia of Microbiology (Third Edition).* San Fransisco, Academic Press.
- Gage, D.J. 2004. Infection and invasion of roots by symbiotic, nitrogen-fixing Rhizobia during nodulation of temperate legumes. *Microbiology and Molecular Biology Reviews.* 68: 280-2300.
- Goormachtig, S., W. Capoen, and M. Holsters. 2004. *Rhizobium* infection: lessons from the versatile nodulation behaviour of water-tolerant legumes. *Trends in Plant Science* 9: 518-522.
- Hartatik dan Widowati. 2006. *Pupuk Organik dan Pupuk Hayati.* Balai Penelitian Tanah.
- Hidayat, A., dan A. Mulyani. 2005. Lahan Kering Untuk Pertanian. hal: 7-37 dalam *Buku Teknologi Pengelolaan Lahan Kering.* Pusat Penelitian Tanah dan Pengembangan dan Agroklimat, Bogor
- Huseini Muhammad Irkham dan Sri Wedhastri. 2014. Pembentukan Bintil akar dan Penambatan Nitrogen oleh Rhizobia pada Tanaman Kedelai di Tanah Gambut. *Universitas Gadjah Mada.* 2014
- Kumalasari Ika Dyah; Endah Dwi Astuti dan Erma Prihastanti. 2013. Pembentukan Bintil Akar Tanaman Kedelai (*Glycine max* (L) Merrill) dengan Perlakuan Jerami pada Masa Inkubasi yang Berbeda. *Laboratorium Biologi Struktur dan Fungsi Tumbuhan Jurusan Biologi Fakultas Sains dan Matematika UNDIP. Jurnal Sains dan Matematika Vol. 21 (4): 103-107 (2013).*
- Lubis Elfrida, Risnawati Risnawati, Yudi Widiyanto, Mentari Oniva Mulya. 2022. Pengaruh Pupuk Organik Cair (POC) Batang Pisang dan Kompos Kulit Jengkol terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Lobak Putih (*Raphanus sativus* L.). Vol. 10 No. 1 (2022): *Jurnal Pertanian Berkelanjutan.* [https://e-journal.my.id/perbal/article/view/1628.](https://e-journal.my.id/perbal/article/view/1628)
- Lumbanraja, P. dan Erwin Masrul Harahap. 2015. Perbaikan Kapasitas Pegang Air dan Kapasita Tukar Kation Tanah Berpasir dengan Aplikasi Pupuk Kandang pada Ultisol Simalingkar. Dimuat pada: *Jurnal Pertanian Tropik USU, Vol.2, No.1. April 2015. (9): 53-67. ISSN Online No: 2356-4725.*
- Lumbanraja Parlindungan, Bangun Tampubolon, Samse Pandiangan, , Ferisman Tindaon, Johan Ambarita dan Ferisman Tindaon. 2023. Aplikasi Pupuk Kandang dan Mikoriza terhadap Peningkatan P-tersedia, serapan P serta Pertumbuhan dan Produksi Jagung Manis (*Zea mays Saccharata* L.) Pada Tanah Ultisol. *Agrium UMSU. Volume 26, No.1. 2023. Halaman 11-20.*
- Lumbanraja Parlindungan, Bangun Tampubolon, Samse Pandiangan, Benika Naibaho, Ferisman Tindaon dan Rachmat C Sidbutar. 2023. Aplikasi Abu Boiler dan Pupuk Kandang Sapi terhadap Hasil Kacang Tanah (*Arachis hypogaea* L.) pada Tanah Ultisol Simalingkar. *Jurnal Agrium Maret, 2023 online version : <https://ojs.unimal.ac.id/index.php/agrium> Vol. 20, No 1, P-ISSN 1829-9288. E-ISSN 2655-1837 Hal. 35-41 Author(s). DOI: 10.29103/agrium.v20i1.10646.*
- Masepohl A.B, K. Schneider B, T. Drepper A, A. Miiller B, and W. Klipp A. 2002. *Alternative Nitrogenases.* Elsevier Science B.V. All rights reserved.
- Prasetyo, B.H. dan D.A. Suriadikarta. 2006. Karakteristik, potensi, dan teknologi pengolahan tanah Ultisol untuk pengembangan pertanian lahan kering di Indonesia. *Jurnal Litbang Pertanian. Vol. 25(2): 39-46.*
- Rao N. S. 1984. *Current Development in Biological Nitrogen Fixation.* Oxford & IBH. Publishing Co, New Delhi.
- Sajar Suryani. 2023. Pengaruh Variasi Dosis Pupuk Organik Cair Limbah Air Tahu dan Kulit Telur Ayam terhadap Pertumbuhan dan Hasil Kedelai (*Glycine max* L.) *Agrium UMSU. Vol 26, No 1 (2023) DOI: <https://doi.org/10.30596/agrium.v26i1.13447>. <https://jurnal.umsu.ac.id/index.php/agrium/article/view/13447>*
- Sprent, J.I. 2001. *Nodulation in Legumes.* Royal Botanic Gardens, Kew, UK.

- Sudaryono, 2009. Tingkat Kesuburan Tanah Ultisol Pada Lahan Pertambang Batubara Sangatta, Kalimantan Timur. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 10(3). 337-346 hal.
- Suharno. 2014. Peranan Rhizobium japonicum Pada Produktivitas Kedelai STPP Yogyakarta.
- Sundari, T dan Purwantoro. 2014. Kesesuaian Genotipe Kedelai untuk Tanaman Sela di Bawah Tegakan Pohon Karet. *Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi. Jl. Raya Kendalpayak Km 8, Kotak Pos 66, Malang 65101. Email: titik_iletri@yahoo.co.id*. PENELITIAN PERTANIAN TANAMAN PANGAN VOL. 33 NO. 1 2014.
- Sylvia, D., Fuhrmann, J., Hartel, P., Zuberer, D. 2005. *Principles and Applications of Soil Microbiology*. Pearson Education Inc. New Jersey. <http://en.wikipedia.org/wiki/> [July 2013]The Mosaic Company. 2016. Soil Acidity. <http://www.croplnutrition.com/efu-soil-ph>
- Tirichine L, EK James, N Sandal, J Stougaard. 2006. Spontaneous Root-Nodule Formation in the Model Legume *Lotus japonicus*: A Novel Class of Mutants Nodulates in the Absence of Rhizobia. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 2006. Am Phytopath Society.
- Walker Travis S, Harsh Pal Bais, Erich Grotewold, and Jorge M. Vivanco. 2003. Root Exudation and Rhizosphere Biology. *Plant Physiology*, Volume 132, Issue 1, May 2003, Pages 44–51, <https://doi.org/10.1104/pp.102.019661>
- Wojciechowski Martin F. and Johanna Mahn. 2006. Nitrogen Fixation and the Nitrogen Cycle. Arizona State University, Tempe, Arizona, USA.