

APLIKASI *A. CHROOCOCCUM* DAN *MIKORIZA A* TERHADAP PERTUMBUHAN, PEMBUNGAAN DAN EFEKTIFITAS SERAPAN HARA KAKAO KLONAL

APPLICATION *A. CHROOCOCCUM* AND *MIKORIZA A* ON THE GROWTH, FLOWERING AND EFFECTIVENESS NUTRIENT UPTAKE COCOA CLONAL

Nasaruddin¹ dan Ismaya NR Parawansa²

¹*Jurusan Budidaya Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin, Makassar*

²*Sekolah Tinggi Penyuluhan Pertanian (STPP) Gowa*

E-mail: ismaya_p@yahoo.co.id

ABSTRAK

Penelitian bertujuan mengetahui pengaruh inokulasi *A. chroococcum* dan *Mikoriza A* terhadap pertumbuhan, pembungaan dan efektifitas serapan hara tanaman kakao klonal umur 1 tahun, pada kakao klonal hasil sambung pucuk umur 6 bulan milik petani binaan *Cacao Riset Group* (CRG) Fakultas Pertanian Unhas di Dusun Dampang, Kabupaten Bantaeng, Maret 2012 sampai Januari 2013. Penelitian dilakukan berdasarkan Rancangan Acak Kelompok. Faktor pertama, pemberian bakteri *A. chroococcum*: tanpa perlakuan sebagai kontrol (A0), 20×10^3 CFU (A1) dan 40×10^3 CFU (A2). Faktor kedua pemberian *Mikoriza A*: tanpa *Mikoriza A* (M0), pemberian *Mikoriza A* 10 g (M1), 20 g (M2) dan 40 g (M3) per pohon. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *A. chroococcum* 40×10^3 CFU berpengaruh sangat nyata terhadap jumlah daun, bunga dan buah per pohon, berat kering per biji, produksi biji per pohon KA 7% dan berpengaruh nyata terhadap luas daun. *Mikoriza A* 20 g per pohon berpengaruh nyata terhadap jumlah daun, produksi biji per pohon KA 7%. Interaksi inokulasi *A. chroococcum* dan *Mikoriza A* berpengaruh tidak nyata terhadap jumlah daun, luas daun dan indeks luas daun, jumlah bunga dan buah yang terbentuk per pohon, jumlah buah panen per pohon, berat kering per biji, produksi biji per pohon KA 7%, dan rata-rata jumlah biji per buah. Inokulasi *A. chroococcum* dan *Mikoriza A* mengakibatkan peningkatan pH tanah, kandungan C organik, N organik, kandungan P_2O_5 dan kandungan K tanah. Peningkatan serapan hara N, P dan K tertinggi pada inokulasi *A. chroococcum* 40×10^3 CFU dan *Mikoriza A* 20 g per pohon.

Kata kunci: *A. chroococcum*, *Mikoriza A*, inokulasi, kakao klonal

ABSTRACT

The research aimed to determine the effect of inoculation of *A. chroococcum* and *Mycorrhiza A* on growth, flowering and plant nutrient uptake effectiveness cocoa clonal age 1 year., on clonal cocoa grafting results (top grafting) aged 6 months-owned assisted farmers Cacao Research Group (CRG) of the Faculty of Agriculture, Hasanuddin University in Dampang, Bantaeng, March 2012 until January 2013. The study was conducted in randomized block design. The first factor, giving the bacteria *A. chroococcum*: without treatment as control (A0), 20×10^3 CFU (A1) and 40×10^3 CFU (A2). A second factor is the provision Mycorrhizae: without Mycorrhiza A (M0), giving Mycorrhiza A 10 g (M1), 20 g (M2) and 40 g (M3) per tree. The results showed that *A.*

chroococcum 40 x 10³ CFU very significant effect on the number of leaves, number of flowers, number of fruits per plant, dry weight per seed, seed production per tree KA 7% and significant effect on leaf area. Mycorrhizal A 20 g per tree significantly affect the number of leaves, seed production per tree KA 7%. Interaction inoculation A. chroococcum and Mycorrhiza A real no effect on the number of leaves, leaf area and leaf area index, number of flowers, number of fruit per tree formed, number of fruit per tree harvest, dry weight per seed, seed production per tree KA 7%, and the average number of seeds per fruit. Inoculation of A. chroococcum and Mycorrhiza A resulted in increased soil pH, organic C content, organic N, P₂O₅ content and K content of the soil. Increased uptake of N, P and K highest inoculation A. chroococcum 40 x 10³ CFU and Mycorrhiza A 20 g per tree.

Keywords: *A. chroococcum*, *Mikoriza A*, *inokulasi*, *cocoa clonal*

PENDAHULUAN

Kakao merupakan salah satu komoditi perkebunan unggulan ekspor Indonesia yang ke-tiga setelah kelapa sawit dan karet, memberikan sumbangan devisa bagi negara mencapai USD 1,053 miliar.pada tahun 2013 (Kementerian Perindustrian RI, 2013).

Indonesia merupakan negara dengan luas pertanaman kakao terbesar ke 4 dunia dengan total areal 1,740,612 ha dan menempati urutan terbesar ke 3 penghasil kakao dunia dengan total produksi 720,862 ton, tapi produktivitas dan mutunya masih sangat rendah (Kementerian Pertanian, 2013).

Sulawesi Selatan merupakan salah satu sentra produksi utama kakao di Indonesia. Areal pertanaman kakao Sulawesi Selatan pada akhir tahun 2012 sebesar 269,6 ha dengan produksi sebesar 149,860 ton dan produktivitas tanaman 0,61 ton ha⁻¹ (BPS, 2012).

Rendahnya kemampuan produksi dan produktivitas tanaman disebabkan karena sebagian besar tanaman sudah tua, pengelolaan tanaman oleh petani sangat sederhana, terjadinya degradasi lahan dan kemunduran kesehatan tanah akibat penggunaan insektisida dan pupuk kimia yang tidak rasional. Kondisi yang demikian mengakibatkan terciptanya

kondisi ekologis yang memungkinkan berkembangnya hama dan penyakit utama kakao seperti PBK, tikus, busuk buah dan VSD (*Vascular Streak Dieback*) yang sangat tinggi dan cepat menyebar (Nasaruddin, 2010).

Tanah sebagai media tumbuh tanaman adalah sebuah komponen dari keseluruhan ekosistem dan tidak dapat dilepaskan dari kesehatan ekosistem tersebut. Di bidang pertanian/perkebunan, tanah yang sehat memiliki kondisi fisik, kimia dan biologis optimal untuk produksi tanaman dan memiliki kesanggupan untuk menjaga kesehatan tanaman serta kualitas ekosistem yang mencakup air dan tanah.

Zona tanah di daerah sistem perakaran tanaman yang dipengaruhi oleh akar baik secara biologis maupun secara kimia disebut "*Rizosfer*". Daerah *rizosfer* merupakan daerah aktivitas biologis dan kimia tanah, dipengaruhi oleh senyawa yang dikeluarkan oleh akar secara intensif dan merupakan makanan bagi mikroorganisme tanah (Zare et al., 2011).

Bakteri yang efektif mengkolonisasi akar yang disebut "*Rhizobacteria*" *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR). PGPR memiliki kemampuan untuk melindungi bagian tanaman di atas tanah terhadap penyakit virus, jamur dan bakteri dengan resistensi sistemik terinduksi

(ISR) (Kloepper et al., 1992). Disamping itu PGPR dapat mempercepat perkecambahan, merangsang pertumbuhan akar dan tunas (Dube, 1997), meningkatkan kadar khlorofil daun (Singh et al, 2003), meningkatkan toleransi tanaman terhadap kekeringan dan garam serta dapat menunda penuaan daun (Lucy et al, 2004).

Salah satu bakteri PGPR yang penting dalam ekosistem tanah dan berperan sebagai agen peningkat pertumbuhan tanaman dan mengalami interaksi yang intensif dengan tanah dan akar tanaman adalah bakteri *Azotobacter chroococcum* (*A chroococcum*). *A chroococcum* adalah spesies rizobakteri yang telah dikenal sebagai agen biologis pengfiksasi N₂ diazotrof, mengkonversi N₂ ke amonium melalui reduksi elektron dan protonasi gas N₂ (Kizilkaya, 2009).

Akar tanaman bersimbiosis secara mutualistik dengan mikroorganisme tanah terutama PGPR dan *Mikoriza arbuskula* (*Mikoriza A*) yang memiliki potensi untuk mempromosi pertumbuhan karena dapat meningkatkan serapan nutrisi, terutama ketika mereka diaplikasikan secara bersama dalam bentuk kombinasi (Artursson et al., 2006; Smith dan Read, 2008) dan secara signifikan mampu meningkatkan efisiensi serapan nutrisi mineral pada tanaman di daerah semi arid yang miskin nutrisi dan kelarutan P rendah (Hegde et al., 1999 dalam Mader et al., 2010).

Mikoriza A bersimbiosis dengan akar tanaman, mampu meningkatkan serapan unsur hara N, P dan, K dan meningkatkan efisiensi penggunaan air tanah, meningkatkan nilai tegangan osmotik sel-sel tanaman pada tanah yang kadar airnya cukup rendah, sehingga tanaman dapat melangsungkan kehidupannya serta mampu meningkatkan laju pertumbuhan vegetatif dan produksi tanaman (Scheublin et al, 2004 dalam Thangadurai, et al.,

2010). Beberapa hasil penelitian telah dilaporkan bahwa pemberian *Mikoriza A* dapat meningkatkan laju pertumbuhan bibit kakao, meningkatkan efisiensi penggunaan air dan ketahanan tanaman terhadap kekeringan (Sasli 1999).

Simbiosis *Mikoriza A* dengan bakteri tanah sangat penting bagi tanaman dan secara signifikan dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman inang (Miransari, 2010). Memahami interaksi tersebut, khususnya di daerah perkebunan kakao dengan kondisi iklim tropis dan keterbatasan sumberdaya pupuk serta sistem budidaya yang sederhana sangat penting dalam upaya perbaikan produksi dan mutu kakao. Pemanfaatan bakteri *A chroococcum* dan *Mikoriza A* diharapkan dapat memperbaiki pertumbuhan tanaman dan dapat meningkatkan daya tahan tanaman terhadap kondisi lingkungan pertanaman yang ekstrim.

Penelitian bertujuan mempelajari dan mengetahui pengaruh inokulasi *A chroococcum* dan *Mikoriza A* terhadap pertumbuhan dan pembungaan serta efektifitas serapan hara tanaman kakao klonal umur 1 tahun.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan selama 10 bulan, bulan Maret 2012 sampai Januari 2013. Percobaan dilaksanakan pada kakao klonal hasil sambung pucuk (*top grafting*) umur 6 bulan, milik petani binaan *Cacao Riset Group* (CRG) Fakultas Pertanian Unhas di Dusun Dampang, Kelurahan Gantarangkeke, Kec. Gantarangkeke, Kab. Bantaeng.

Bahan yang digunakan adalah tanaman kakao klonal hasil sambung pucuk dari klon yang Sulawesi 1, Sulawesi 2 dan Muhtar 1. Ditempatkan masing-masing sebagai ulangan. *A. chroococcum* yang digunakan berasal dari biakan

Laboratorium Biofertilizer Fakultas Pertanian Unhas dengan kepadatan populasi 10^7 CFU. *Mikoriza A* yang digunakan diperoleh dari Laboratorium Mikrobiologi Fakultas Pertanian IPB dalam bentuk biakan Zeolit.

Penelitian dilakukan dalam bentuk percobaan faktorial yang disusun berdasarkan pola Rancangan Acak Kelompok. Faktor pertama adalah pemberian bakteri *A. chroococcum* yang terdiri dari tiga taraf yaitu tanpa perlakuan sebagai kontrol (A0), 20×10^3 CFU (A1) dan 40×10^3 CFU (A2). Perlakuan *Mikoriza A* terdiri dari tanpa *Mikoriza A* (M0), pemberian *Mikoriza A* 10 g (M1), 20 g (M2) dan 40 g (M3) per pohon. Perlakuan *A. chroococcum* diberikan dua kali, setengah dosis pada awal percobaan dan setengah dosis diberikan 5 bulan setelah perlakuan pertama. Perlakuan *Mikoriza A* diberikan hanya 1 kali bersamaan dengan pemberian *A. chroococcum*. Dengan demikian terdapat 12 kombinasi perlakuan yang diulang sebanyak 3 kali dan setiap kombinasi perlakuan terdiri 3 tanaman. Kombinasi perlakuan yang dicobakan adalah; A0M0, A0M1, A0M2, A0M3, A1M0, A1M1, A1M2, A1M3, A2M0, A2M1, A2M2, dan A2M3. Untuk menilai hasil percobaan dilakukan pengamatan terhadap beberapa parameter (Y) dengan model analisis pendugaan parameter:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Y_{ijk} = nilai pengamatan untuk faktor A level ke i, faktor B level ke j dan pada ulangan ke -k

μ = nilai tengah umum

α_i = pengaruh faktor ke-A, level ke-i.

β_j = pengaruh faktor ke-B, level ke -j

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Interaksi AB pada level A ke-i, level B ke j

ϵ_{ijk} = nilai acak untuk level ke-I (A) level ke- j (B) ulangan ke k

Hasil pengamatan dilakukan uji ANOVA, dan untuk menentukan perlakuan yang terbaik, dilakukan uji lanjutan dengan membandingkan dua nilai rata-rata, menggunakan Uji beda nyata jujur (BNJ).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Jumlah Daun, Luas Daun, dan Indeks Luas Daun (ILD)

Hasil percobaan menunjukkan bahwa perlakuan inokulasi *A. chroococcum* berpengaruh sangat nyata terhadap jumlah daun yang terbentuk, berpengaruh nyata terhadap luas daun, tetapi berpengaruh tidak nyata terhadap indeks luas daun, Perlakuan *Mikoriza A*. berpengaruh nyata terhadap jumlah daun yang terbentuk tetapi berpengaruh tidak nyata terhadap luas daun dan indeks luas daun tanaman, sedangkan interaksi perlakuan inokulasi *A. chroococcum* dengan *Mikoriza A*. berpengaruh tidak nyata. Uji BNJ α 0,05 pada Tabel 1 menunjukkan bahwa perlakuan dosis *A. chroococcum* 40×10^3 CFU memperlihatkan jumlah daun terbanyak dan luas daun terlebar dan berbeda nyata dibanding tanpa inokulasi dan dosis inokulasi 20×10^3 CFU. Perlakuan *Mikroza A* 20 g pohon⁻¹ menghasilkan jumlah daun terbanyak dan berbeda nyata dibanding dengan tanpa inokulasi, dosis inokulasi 10 g dan 40 g pohon⁻¹ sampai pada akhir penelitian.

Analisis regresi menunjukkan bahwa dosis perlakuan inokulasi *A. chroococcum* berkorelasi positif secara linier terhadap pertambahan jumlah daun dan luas daun yang terbentuk. Makin tinggi dosis inokulasi makin baik pengaruhnya terhadap jumlah dan luas daun yang terbentuk. Setiap peningkatan satu satuan dosis inokulasi akan meningkatkan jumlah daun sebesar 5.71 lembar daun dengan mengikuti persamaan $y = 5.71x + 585.35$;

$R^2=9915$ dan luas daun sebesar 998.25 cm^2 dengan mengikuti persamaan $y=998.25x + 94091$; $R^2 = 0.9754$ (Gambar 1).

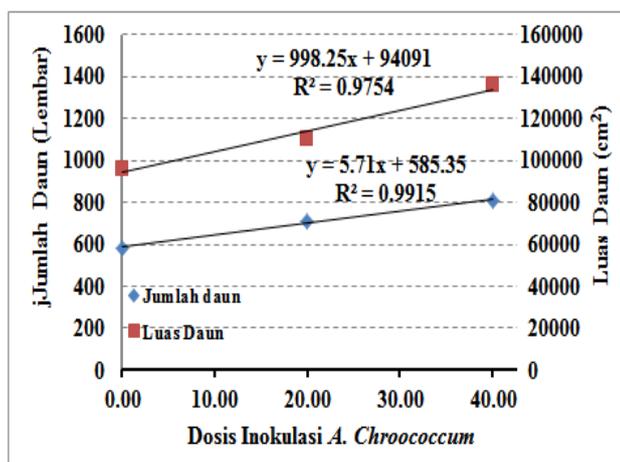
Hasil percobaan menunjukkan bahwa perlakuan inokulasi *Mikoriza A*. 20 g pohon^{-1} memperlihatkan jumlah daun,

luas daun dan ILD yang lebih baik dibanding dengan perlakuan lainnya. Perlakuan inokulasi *Mikoriza A*. 40 g pohon^{-1} memperlihatkan perkembangan daun yang lebih rendah dibanding perlakuan dosis inokulasi *Mikoriza A* 20 g pohon^{-1} .

Tabel 1. Rata-rata jumlah daun, luas daun dan indeks luas daun tanaman kakao pada perlakuan *A. chroococcum* dan *Mikoriza A* akhir percobaan

Perlakuan	Umur tanaman setelah tanam (BST)		
<i>A. chroococcum</i>	Jumlah daun (lembar)	Luas daun (cm^2)	ILD
0 CFU	579.247 a	9,5921.563 a	5.491
20×10^3 CFU	711.748 b	110,393.658 b	5.237
40×10^3 CFU	807.647 c	135,851.676 c	6.200
BNJ α 0,05	42.44	7,215.43	
<i>Mikoriza A</i>			
0,0 g	513.444 a	81,387.660 a	4.838 a
10,0 g	725.298 b	113,297.117 b	6.077 b
20,0 g	862.825 d	144,927.078 c	6.410 b
40,0 g	696.622 c	116,610.675 b	5.245 a
BNJ0,05	58.24	9,901.698	0.42

Keterangan: Angka yang di ikuti oleh huruf yang tidak sama pada kolom (a,b,c,d) berbeda nyata pada taraf uji Uji BNJ α 0.05.



Gambar 1. Grafik hubungan antara dosis inokulasi *A. chroococcum* dengan jumlah daun dan luas daun tanaman pada akhir percobaan

**Jumlah Bunga, Jumlah Buah
Terbentuk dan Jumlah Buah Panen Per
pohon**

Hasil percobaan menunjukkan bahwa perlakuan inokulasi *A. chroococcum* berpengaruh sangat nyata terhadap jumlah bunga dan jumlah buah yang terbentuk per pohon tetapi berpengaruh tidak nyata terhadap jumlah buah panen per pohon, perlakuan *Mikoriza* dan Interaksi perlakuan inokulasi *A. chroococcum* dengan *Mikoriza* *A.* berpengaruh tidak nyata. Uji BNP α 0.05 pada Tabel 2. menunjukkan bahwa perlakuan dosis *A. chroococcum* 40 x 10³ CFU memperlihatkan jumlah bunga dan jumlah buah yang terbentuk per pohon lebih banyak dan berbeda nyata dibanding tanpa inokulasi dan dosis inokulasi 20 x 10³ CFU.

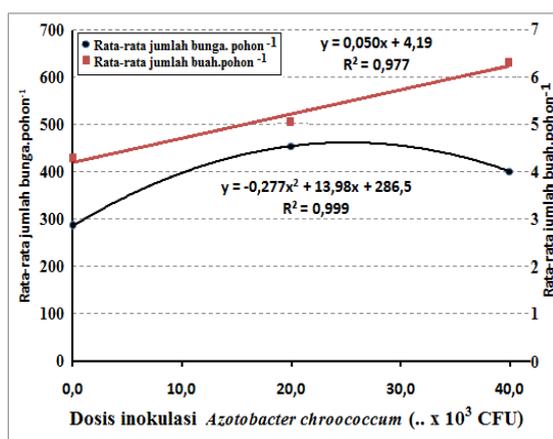
Analisi regresi menunjukkan bahwa perlakuan dosis inokulasi *A. chroococcum* berkorelasi positif secara kuadratik terhadap jumlah bunga yang terbentuk dan berkorelasi positif secara linier terhadap jumlah buah terbentuk per pohon.

Setiap peningkatan satu satuan dosis inokulasi *A. chroococcum* akan meningkatkan jumlah bunga yang sebesar 13.98 bunga sampai mencapai dosis maksimal inokulasi *A. chroococcum* 25,23 x 10³ CFU dengan mengikuti persamaan $y = -0.277x^2 + 13.98x + 286.5$; $R^2 = 0.999$, Jumlah buah yang terbentuk akan meningkat sebesar 0.050 buah setiap peningkatan satu satuan dosis inokulasi inokulasi *A. Chroococcum* dengan mengikuti persamaan $y = 0.050x + 4.19$; $R^2 = 0.977$

Tabel 2. Rata-rata jumlah bunga, jumlah buah dan jumlah buah panen per pohon pada perlakuan *A. chroococcum* dan *Mikoriza* A akhir percobaan

Perlakuan	Umur tanaman setelah tanam (BST)		
	Rata-rata jumlah bunga/pohon	Rata-rata jumlah , buah/pohon	Rata-rata jumlah buah di panen/pohon
0 CFU	286.500 a	4.278 a	0.913
20 x 10 ³ CFU	455.139c	5.028 b	1.553
40 x 10 ³ CFU	401.639b	6.306 c	1.748
BNP α 0,05	24.20	0.311	

Keterangan: Angka yang di ikuti oleh huraf yang tidak sama pada kolom (a,b,c,d) berbeda nyata pada taraf uji Uji BNP α 0,05.



Gambar 2. Grafik hubungan antara dosis inokulasi *A. chroococcum* dengan jumlah bunga dan jumlah buah per pohon pada akhir percobaan

Rata-Rata Jumlah Biji Per Buah, Berat Kering Per Biji Ka 7% dan Produksi Biji Per Pohon Ka 7%

Hasil percobaan menunjukkan bahwa perlakuan inokulasi *A. chroococcum* berpengaruh sangat nyata terhadap berat kering per biji dan produksi biji per pohon KA 7%. tetapi berpengaruh tidak nyata terhadap rata-rata jumlah biji per buah, perlakuan *Mikoriza A.* berpengaruh nyata terhadap produksi biji per pohon KA 7%, tetapi berpengaruh tidak nyata terhadap jumlah biji per buah dan berat kering per biji. Interaksi perlakuan inokulasi *A. chroococcum* dengan *Mikoriza A.* berpengaruh tidak nyata, Uji BNJ α 0,05. Tabel 3 menunjukkan bahwa perlakuan dosis *A. Chroococcum* 40×10^3 CFU memperlihatkan berat kering per biji dan produksi biji per pohon KA 7% lebih tinggi dan berbeda nyata dibanding tanpa inokulasi dan dosis inokulasi 20×10^3 CFU. Dosis inokulasi *Mikoriza A* 20 g pohon^{-1} memperlihatkan perproduksi biji

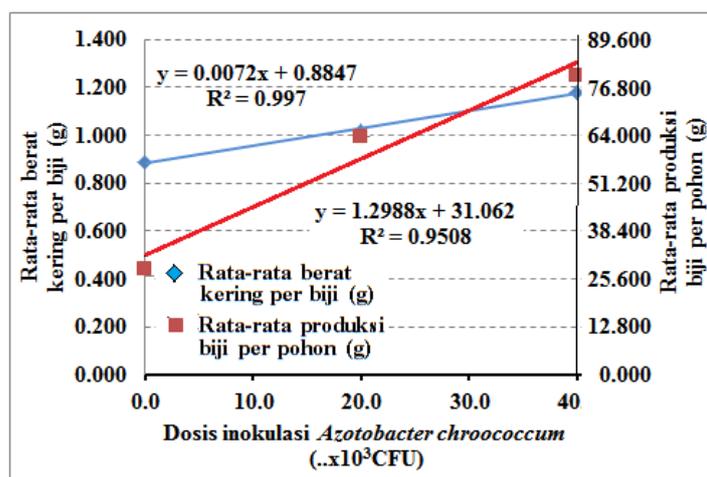
kering per pohon lebih tinggi dan berbeda nyata dibanding tanpa inokulasi, dosis 10 g dan 40 g pohon^{-1} , tetapi berpengaruh tidak nyata terhadap rata-rata jumlah biji per buah. Perlakuan *Mikoriza A.* berpengaruh nyata terhadap produksi biji per pohon KA 7%, tetapi berpengaruh tidak nyata terhadap jumlah biji per buah dan berat kering per biji. Interaksi perlakuan inokulasi *A. chroococcum* dengan *Mikoriza A.* berpengaruh tidak nyata.

Uji BNJ α 0,05 pada Tabel 3, menunjukkan bahwa perlakuan dosis *A. chroococcum* 40×10^3 CFU memperlihatkan berat kering per biji dan produksi biji per pohon KA 7% lebih tinggi dan berbeda nyata dibanding tanpa inokulasi dan dosis inokulasi 20×10^3 CFU, Dosis inokulasi *Mikoriza A* 20 g pohon^{-1} memperlihatkan produksi biji kering per pohon lebih tinggi dan berbeda nyata dibanding tanpa inokulasi, dosis 10 g dan 40 g pohon^{-1} .

Tabel 3. Rata-rata jumlah biji per buah, berat kering per biji (g) KA 7% dan produksi biji per pohon (g) KA 7% pada perlakuan inokulasi *A. chroococcum* dan *Mikoriza A*.

Perlakuan	Umur tanaman setelah tanam (BST)		
	Rata-rata Jumlah, biji/buah	Rata-rara berat kring/biji (g)	Rata-rata produksi biji/pohon (g)
<i>A. chroococcum</i>			
0 CFU	34.083	0.889 a	27.649 a
20 x 10 ³ CFU	38.000	1.020 b	63.862 b
40 x 10 ³ CFU	37.083	1.177 c	79.599 c
BNJ α 0.05		0.045	5.546
<i>Mikoriza A</i>			
0.0 g	34.222	0.904	39.608 a
10.0 g	35.778	1.006	49.293 b
20.0 g	36.889	1.118	74.293 d
40.0 g	38.667	1.087	64.953 c
BNJ 0.05			7.611

Keterangan: Angka yang di ikuti oleh huruf yang tidak sama pada kolom (a,b,c,d) berbeda nyata pada taraf uji Uji BNJ α 0,05,



Gambar 3. Grafik hubungan antara dosis inokulasi *A. chroococcum* dengan rata-rata berat kering per biji dan produksi biji per pohon KA 7%, pada akhir percobaan

Tabel 4. Hasil analisis laboratorium beberapa karakteristik tanah dan perubahannya setelah perlakuan *A.chroococcum* dan *Mikoriza A*.

No	Perlakuan	Parameter)*						Persentase Peningkatan (%)**					
		pH	Bhn Organik		P ₂ O ₅	KTK	K	pH	C	N	P ₂ O ₅	KTK	K
			C	N	Olsen	(cmol	(cmol						
			H ₂ O	(%)	(%)	(ppm)	(+)kg ⁻¹						
1	A0M0	5.77	1.98	0.12	11.24	19.25	0.12	-	-	-	-	-	-
2	A0M1	5.88	2.05	0.19	11.95	12.68	0.25	1.9	3.5	58.3	6.3	-34.1	108.3
3	A0M2	6.23	2.32	0.18	11.95	15.85	0.32	8.0	17.2	50.0	6.3	-17.7	166.7
4	A0M3	6.18	2.25	0.18	11.96	11.56	0.52	7.1	13.6	50.0	6.4	-39.9	333.3
5	A1M0	6.43	2.52	0.21	12.65	26.32	0.24	11.4	27.3	75.0	12.5	36.7	100.0
6	A1M1	6.21	2.66	0.23	12.85	22.98	0.52	7.6	34.3	91.7	14.3	19.4	333.3
7	A1M2	6.20	2.45	0.20	12.74	13.62	0.32	7.5	23.7	66.7	13.3	-29.2	166.7
8	A1M3	6.24	2.65	0.25	12.25	24.59	0.41	8.1	33.8	108.3	9.0	27.7	241.7
9	A2M0	6.41	2.59	0.24	12.27	26.52	0.32	11.1	30.8	100.0	9.2	37.8	166.7
10	A2M1	5.58	2.48	0.21	12.63	21.65	0.28	-3.3	25.3	75.0	12.4	12.5	133.3
11	A2M2	6.64	2.63	0.26	13.05	28.24	0.45	15.1	32.8	116.7	16.1	46.7	275.0
12	A2M3	6.36	2.65	0.25	13.22	30.52	0.32	10.2	33.8	108.3	17.6	58.5	166.7
Rata-rata								7.7	25.1	81.8	11.2	10.8	199.2

Keterangan :)* = Hasil analisa Laboratorium
)** = Hasil perhitungan

Analisis regresi meunjukkan bahwa dosis perlakuan Inokulasi Analisis regresi menunjukkan bahwa dosis perlakuan inokulasi *A. chroococcum* berkorelasi positif secara linier terhadap pertambahan rata-rata berat kering per biji dan produksi biji per pohon KA7%. Setiap peningkatan satu satuan dosis inokulasi *A. chroococcum* akan meningkatkan berat kering per biji KA 7%, sebesar 0,0072 g dengan mengikuti persamaan $y = 0,0072x + 0.8846$; $R^2 = 0.9976$ dan produksi biji per pohon KA 7%, sebesar 1,2987 g dengan mengikuti persamaan $y = 1.2987x + 31.062$; $R^2 = 0.9508$ (Gambar 3).

Beberapa Karakteristik dan Efektifitas Serapan Hara serta Persentase Akar Terinfeksi *Mikoriza A*.

Analisis laboratorium pada Tabel 4 memperlihatkan, bahwa perlakuan inokulasi *A. chroococcum* dan *Mikoriza A*. mengakibatkan peningkatan pH tanah, Kandungan bahan organik khususnya C organik dan N organik, kandungan P₂O₅,

dan kandungan K tanah. Perubahan KTK tanah mengalami perubahan yang bervariasi berdasarkan dosis inokulasi *A. chroococcum* dan *Mikoriza A*.

Umumnya pH tanah mengalami peningkatan dari 5.77 ke 5.88 sampai 6.64, kecuali pada perlakuan inokulasi *A. chroococcum* 40 x 10³ CFU dengan *Mikoriza* 10 g mengalami penurunan pH menjadi 5,58. Perlakuan Inkulasi *A.chroococcum* dan *Mikoriza A* mengalami peningkatan pH tanah rata-rata 7.7%. Peningkatan C organik tanah mengalami peningkatan dari 1.98% ke 2.05% sampai 2.66%, Rata-rata peningkatan kadar C organik tanah setelah perlakuan inokulasi *A.chroococcum* dan *Mikoriza A* sebesar 25.1%. Kandungan N organik mengalami peningkatan dari 0.12% menjadi 0.19% sampai 0.26% dengan rata-rata peningkatan sebesar 81.8%. Kandungan P₂O₅ tanah mengalami peningkatan setelah perlakuan inokulasi *A.chroococcum* dan *Mikoriza A* dari 11.24 ppm menjadi 11.95 ppm sampai 13.22

ppm dengan rata-rata peningkatan 11.2%. Demikian pula peningkatan kandungan K tanah mengalami peningkatan dari 0.12 cmol (+) kg⁻¹ menjadi 0.25 sampai 0.52 cmol (+) kg⁻¹ dengan rata-rata peningkatan sebesar 199.2%. KTK tanah mengalami perubahan yang sangat bervariasi. Beberapa perlakuan justru mengakibatkan penurunan KTK tanah dari 19.25 cmol (+) kg⁻¹ menjadi 15.85 sampai 11,56 cmol (+) kg⁻¹ khususnya pada perlakuan tunggal MA, tetapi pada perlakuan inokulasi ganda pada umumnya meningkat menjadi 22.98 sampai 30.52 cmol (+) kg⁻¹, tetapi secara keseluruhan terjadi peningkatan KTK rata-rata 10.8%. Analisa laboratorium (Tabel 4) memperlihatkan bahwa perlakuan inokulasi *A. chroococcum* dan *Mikoriza A.* mengakibatkan peningkatan kandungan hara N, P dan K daun. Kandungan hara N daun mengalami peningkatan dari 1.21% pada perlakuan kontrol (tanpa inokulasi) meningkat menjadi 2.16% sampai 2.46%. Peningkatan serapan hara N tertinggi terjadi pada perlakuan inokulasi ganda *A.chroococcum* 40 x 10³ CFU dan *Mikoriza A.* 20 g per pohon dengan kandungan hara daun sebesar 3.46%.

Berdasarkan Tabel 5, efektifitas serapan hara tanaman kakao setelah perlakuan *A.chroococcum* dan *Mikoriza A.* diperoleh rata-rata efektifitas serapan hara N antara 178.51 % sampai 285.95 % dan perlakuan inokulasi *A.chroococcum* 40 x 10³ CFU dan *Mikoriza A.* 20 g per pohon memperlihatkan efektifitas serapan

tertinggi. Kandungan hara P daun meningkat dari 0.18% pada perlakuan tanpa inokulasi menjadi 0.24% sampai 0.27% dengan efektifitas serapan antara 133.33% sampai 144.44%.

Kandungan hara P daun dan efektifitas serapan tertinggi pada perlakuan inokulasi *A.chroococcum* 40 x 10³ CFU dan *Mikoriza A.* 20 g per pohon. Perubahan kandungan hara P daun setelah perlakuan inokulasi bervariasi. Beberapa perlakuan memiliki kandungan hara K daun lebih rendah dibanding dengan tanpa inokulasi seperti pada inokulasi tunggal *Mikoriza A* 10 g, inokulasi tunggal *A.chroococcum* 40 x 10³ CFU, inokulasi ganda 40 x 10³ CFU dengan *Mikoriza A.* 10 g dan inokulasi ganda 40 x 10³ CFU dengan *Mikoriza A.* 40 g per pohon. Namun demikian perlakuan lain mengalami peningkatan kandungan K jaringan daun dari 0.99% pada perlakuan tanpa inokulasi menjadi 1.05-1,25% dengan kandungan hara K daun dan efektifitas serapan tertinggi pada perlakuan *A.chroococcum* 40 x 10³ CFU dan *Mikoriza A.* 20 g per pohon.

Tingkat infeksi *Mikoriza A.* pada akar tanaman kakao disajikan pada Tabel 6. Berdasarkan hasil analisis laboratorium, diketahui rata-rata persentase akar tanaman kakao terinfeksi oleh *Mikoriza A.* meningkat seiring dengan peningkatan dosis inokulasi *Mikoriza A.* Makin tinggi dosis inokulasi *Mikoriza A* yang diberikan makin banyak jumlah akar tanaman yang terinfeksi.

Tabel 5. Efektifitas serapan hara N,P dan K tanaman kakao setelah perlakuan inokulasi *A. chroococcum* dan *Mikoriza A*

No	Perlakuan	Kadar Hara Daun)*			Efektifitas Serapan hara (%)**		
		% N	% P	% K	N	P	K
1	A0M0	1.21	0.18	0.99	-	-	-
2	A0M1	2.57	0.26	0.86	212.40	144.44	86.87
3	A0M2	2.54	0.25	1.25	209.92	138.89	126.26
4	A0M3	2.16	0.27	1.15	178.51	150.00	116.16
5	A1M0	2.35	0.25	1.11	194.21	138.89	112.12
6	A1M1	2.63	0.26	1.10	217.36	144.44	111.11
7	A1M2	2.65	0.26	1.05	219.01	144.44	106.06
8	A1M3	2.21	0.26	0.96	182.64	144.44	96.97
9	A2M0	2.96	0.27	0.77	244.63	150.00	77.78
10	A2M1	3.20	0.27	1.05	264.46	150.00	106.06
11	A2M2	3.46	0.27	1.17	285.95	150.00	118.18
12	A2M3	2.71	0.24	0.89	223.97	133.33	89.90

Keterangan :)* = Hasil analisa Laboratorium
)** = Hasil perhitungan

Tabel 6. Rata-rata persentase akar tanaman kakao terinfeksi *Mikoriza A* (%) pada perlakuan inokulasi *A. chroococcum* dan *Mikoriza A*.

Dosis Inokulasi <i>Mikoriza A</i> (g. tan ⁻¹)	Dosis Inokulasi <i>A. chroococcum</i> (CFU)			Total Infeksi	Rata-rata
	A0 (0 CFU)	A1 (20x10 ³ CFU)	A2 (40x10 ³ CFU)		
M0	5.00	0.00	0.00	5.00	1.67
M1	90.00	100.00	75.00	265.00	88.33
M2	85.00	95.00	85.00	265.00	88.33
M3	100.00	100.00	95.00	295.00	98.33
Total infeksi	280.00	295.00	255.00		
Rata-rata	70.00	73.75	63.75		

Sumber: Hasil Analisa Labratorium pada 4-20 April 2012.

Pembahasan
Pengaruh Perlakuan Inokulasi *A. chroococcum*

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan inokulasi *A. chroococcum* 40 x 10³ CFU per pohon memperlihatkan jumlah daun dan luas daun yang terbentuk lebih baik dan berbeda nyata dibanding

dengan *A. chroococcum* 20 x 10³ CFU per pohon dan tanpa inokulasi. Perlakuan inokulasi *A. chroococcum* berkorelasi positif secara kuadratik terhadap pertambahan jumlah daun dan luas daun tanaman kakao. Peningkatan jumlah daun dan luas daun disebabkan karena inokulasi *A. chroococcum* meningkatkan ketersediaan

an hara khususnya N dan P yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman (Tabel 5). Fase pertumbuhan vegetatif tanaman, perkembangan organ-organ vegetatif khususnya akar, batang dan daun secara proporsional merupakan faktor penentu keberhasilan sistem budidaya tanaman. Secara fisiologis perkembangan organ vegetatif diregulasi oleh cadangan asimilat dan fitohormon yang diproduksi oleh tanaman sendiri serta pengaruh faktor lingkungan termasuk ketersediaan hara yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman dari dalam tanah sebagai media tumbuh utama tanaman. Pertumbuhan dan perkembangan akar dan tajuk akan dikendalikan oleh ketersediaan hara di dalam tanah. Secara alami, akar berperan sebagai saluran untuk mensuplai kebutuhan hara dan air dari tanah ke lokasi sintesis dalam tanaman khususnya daun. Dengan demikian pertumbuhan akar yang normal akan menjamin perkembangan tajuk tanaman di atas permukaan tanah.

Nitrogen adalah salah satu unsur hara utama yang sangat penting dalam seluruh proses biokimia tanaman. Dalam sistem nutrisi tanaman yang terintegrasi, kesehatan tanah yang berhubungan dengan ketersediaan nitrogen dapat dicapai dengan menyeimbangkan input sumber nitrogen dari bahan anorganik, organik dan mikroorganisme bermanfaat (Hindersah dan Simarmata, 2004). Pola perkembangan daun dan luas daun serta perkembangan LAI pada percobaan ke III seirama dengan hasil percobaan ke-dua. Peranan *A. chroococcum* dalam memenuhi kebutuhan nitrogen dalam perkembangan daun seperti telah diuraikan pada percobaan ke-dua tidak diragukan lagi. Bentuk utama nitrogen di dalam tanah adalah ammonium dan nitrat yang tersedia untuk tanaman serta bahan organik yang harus mengalami dekomposisi sebelum dapat langsung diambil akar tanaman. Penambahan

kompos kulit kakao sebagai perlakuan dasar sebanyak 5 kg pohon⁻¹ menambah ketersediaan N dan nutrisi lainnya yang dapat dimanfaatkan oleh akar tanaman. Penambahan N tersedia dalam bentuk amonium dari hasil fiksasi *A. chroococcum* meningkatkan daya dukung tanah untuk menyokong pertumbuhan tanaman.

Hasil analisis kadar hara N daun (Tabel 6), menunjukkan jumlah nitrogen yang diperlukan tanaman tercukupi untuk mendukung pertumbuhan tanaman kakao secara normal. Tanaman kakao yang tumbuh normal memiliki kadar hara N daun > 2.0% terhadap berat kering dan tanaman kakao mulai memperlihatkan gejala defisiensi apabila kadar N daun < 2,0% (Loué, et al dalam Jadin dan Snoeck 1985; Williams dalam Nasaruddin dan Rosmawaty, 2011). Pada percobaan I dan kedua II, dosis inokulasi *A. chroococcum* berkorelasi positif secara linier terhadap jumlah daun dan luas daun dan peningkatan dosis inokulasi *A. chroococcum* sampai 40×10^3 CFU di pertanaman, masih memperlihatkan korelasi yang bersifat linier sampai pada akhir percobaan.

Perbaikan pertumbuhan daun tanaman kemungkinan disebabkan karena peran inokulan *A. chroococcum* terhadap perbaikan kesuburan fisik tanah, perbaikan pertumbuhan akar tanaman oleh peningkatan kandungan hormon pertumbuhan khususnya *sitokinin*, *gibberellin* dan *auksin* seperti yang diuraikan pada pembahasan percobaan ke dua yang mengakibatkan perbaikan pertumbuhan akar dan efektifitas serapan hara bagi tanaman.

Hasil analisa laboratorium (Tabel 4), menunjukkan peningkatan pH tanah, peningkatan kandungan C organik dan N organik tanah yang mengakibatkan perbaikan pertumbuhan akar serta peningkatan efektifitas serapan. Akar

tanaman merupakan organ vegetatif utama yang mensuplai air, nutrisi mineral dan bahan lain yang penting bagi pertumbuhan dan perkembangan organ vegetatif dan generatif tanaman. Pengamatan terhadap perkembangan sistem perakaran pada penelitian ini tidak dilakukan, tetapi pada percobaan ke-dua menunjukkan bahwa inokulasi *A.chroococcum* berkorelasi positif secara linier terhadap berat kering dan berat segar akar. Tanaman kakao adalah tanaman yang memiliki sistem perakaran yang relatif dangkal (Nasaruddin, 2010). Dengan demikian modifikasi *rizosfer* melalui penambahan bahan organik seperti kompos kulit kakao dan inokulasi mikroorganisme bermanfaat seperti *A.chroococcum* dan *Mikoriza A* dapat memperbaiki pertumbuhan dan aktifitas akar dalam mendukung pertumbuhan dan perkembangan bagian atas tanaman. Proporsi perkembangan akar dan bulu akar pada tanaman kakao meningkat dengan peningkatan jumlah hara tersedia, baik dari sumber hara organik maupun dari sumber anorganik pada awal dan akhir musim hujan (Muñoz dan Beer, 2001).

Hasil percobaan memperlihatkan bahwa perlakuan inokulasi *A.chroococcum* berpengaruh sangat nyata terhadap jumlah bunga dan buah yang terbentuk. Inokulasi *A.chroococcum* 20×10^3 CFU memperlihatkan jumlah bunga yang terbentuk lebih banyak dan berbeda nyata dibanding dengan tanpa inokulasi dan inokulasi *A.chroococcum* 40×10^3 CFU. Dosis inokulasi *A.chroococcum* berkorelasi positif secara kuadrat terhadap jumlah bunga yang terbentuk. Peningkatan dosis inokulasi akan meningkatkan jumlah bunga yang terbentuk sampai mencapai 25.34×10^3 CFU dan selanjutnya akan mengalami penurunan.

Awal pembungaan tanaman kakao biasanya beragam, tergantung sifat

genetis, tingkat pemeliharaan tanaman dan teknis perbanyakan tanaman. Tanaman *seedling* (yang berasal dari pembiakan generatif) yang dirawat dengan baik dapat mulai berbunga pada umur 2 tahun (Alvin 1984), sedangkan tanaman klon yang berasal dari teknis pembiakan secara vegetatif mulai berbunga pada umur 6-8 bulan. Periode musim pembungaan tanaman kakao pada dasarnya berkaitan erat dengan irama pertumbuhan tanaman secara keseluruhan. Tanaman kakao yang masih muda dan bertunas terus menerus, bunga muncul hampir sepanjang tahun. Masa tidak berbunga tanaman kakao biasanya 1-2 bulan setelah masa tidak bertunas (Nasaruddin, 2010). Jumlah bunga yang terbentuk pada periode awal pembungaan pada perlakuan inokulasi *A.chroococcum* disebabkan karena perlakuan inokulasi *A.chroococcum* dapat memenuhi kebutuhan air serta nutrisi mineral khususnya N dan P. Tingkat kecukupan air dan nutrisi memungkinkan tanaman mampu membentuk daun-daun baru yang lebih banyak dan memproduksi asimilat (hasil fotosintesis) serta *fitohormon* untuk menopang pembungaan dan penguatan. Status nutrisi dan asimilat dalam tanaman akan mempengaruhi pembungaan dan penguatan tanaman kakao. Keterbatasan nutrisi akan berakibat terhambatnya berbagai proses metabolisme yang mengakibatkan jumlah asimilat yang terbentuk terbatas khususnya karbohidrat dan metabolisme nitrogen sebagai faktor-faktor fisiologis utama yang mempengaruhi pembungaan. Kecukupan N tanaman merupakan salah satu pendukung utama penguatan tanaman kakao. Inokulasi *A.chroococcum* dapat memenuhi kebutuhan nitrogen tanaman. Nitrogen pada jaringan tanaman kakao secara tidak langsung meningkatkan pembentukan buah. Bunga dan buah tanaman kakao muncul pada bantalan bunga yang terletak pada batang dan

cabang yang berukuran >1 cm. Pembentukan bunga dan buah pada bantalan bunga diinduksi oleh aktifitas kambium pada batang dan jaringan meristematik pada bantalan bunga (Alvin 1984). Selanjutnya dikatakan bahwa aktifitas kambium dan jaringan meristematik pada bantalan bunga dapat ditingkatkan melalui pemenuhan kebutuhan nitrogen tanaman. Pada saat pembungaan tanaman kakao sebagian dari nitrogen dimanfaatkan untuk pembentukan senyawa sekunder khususnya senyawa fenol seperti asam *hydroxycinnamic*, *tanin* dan *anthocyanin* (Aneja et al., 1999). Kandungan senyawa-senyawa fenolik ini pada bagian-bagian bunga relatif tinggi dan merupakan agen kimia pelindung bunga terhadap kerusakan akibat faktor lingkungan (Alemanno et al., 2003).

Hasil penelitian Hutcheon (1973), membuktikan bahwa peningkatan jumlah karbohidrat hasil fotosintesis dan peningkatan aktifitas metabolisme nitrogen meningkatkan pembungaan tanaman kakao. Dengan demikian upaya peningkatan laju fotosintesis pada tanaman C3 seperti tanaman kakao dapat meningkatkan pembentukan bunga.

Penurunan jumlah bunga pada dosis inokulasi *A.chroococcum* 40×10^3 CFU disebabkan karena tanaman kakao adalah kelompok tanaman C3 berkayu yang memiliki kapasitas fotosintesis daun relatif lebih rendah dibanding dengan tanaman C4 dan berbeda dengan tanaman C3 berkayu lainnya. Tanaman kakao berbuah sepanjang tahun dan tidak jelas batas antara fase vegetatif dan generatif. Hasil pengamatan terhadap jumlah daun dan jumlah bunga berkorelasi positif secara linier terhadap peningkatan dosis inokulasi *A.chroococcum*. Dengan demikian akan terjadi persaingan yang sangat ketat antara daun, dan bunga memanfaatkan assimilasi. Pada fase

perkembangan daun, kapasitas fotosintesisnya sangat rendah bahkan cenderung menjadi pengguna asimilat (Baker dan Hardwick, 1973), Selama periode perkembangan daun menjadi daun dewasa, kandungan fruktosa, glukosa dan sukrosa meningkat yang diimpor dari daun tua. (Baker dan Hardwick, 1975). Perkembangan simultan dari beberapa daun dalam flush mengkonsumsi karbohidrat yang sangat besar dan berlangsung selama periode 10 sampai 15 hari, melebihi fotosintat yang diproduksi saat itu (Machado dan Hardwick, 1988). Kondisi internal pembungaan seperti ini akan mengakibatkan penurunan jumlah bunga yang terbentuk pada dosis inokulasi *A. chroococcum* yang lebih tinggi. Umumnya bunga mekar di sore hari, dan benar-benar terbuka 12-14 jam kemudian atau pada pagi hari berikutnya. Pada saat bunga terbuka maksimal, kepala sari membebaskan serbuk sari dan kepala putik dalam keadaan reseptif untuk dibuahi. Meskipun bunga kakao bersifat *hermafrodit*, bunga memiliki kepala sari tertutup oleh kelopak bunga, sehingga tanpa intervensi dari serangga *Forcipomyia sp*, penyerbukan sangat kecil kemungkinan terjadi (Dias and Kageyama 1997). Bunga kakao yang tidak mengalami penyerbukan akan gugur dalam 24-36 jam kemudian. Jumlah bunga yang gugur pada tanaman kakao secara normal tanpa mengalami penyerbukan antara 60-90 %, tetapi jumlah buah yang bertahan sampai panen jauh lebih kecil yaitu 0.5-5.0% (Aneja et al., 1999 Alan et al., 2008; Nasaruddin; 2010).

Dosis inokulasi *A.chroococcum* berkorelasi positif secara linier terhadap jumlah buah terbentuk. Peningkatan dosis inokulasi akan meningkatkan jumlah buah yang terbentuk. Kecukupan N tanaman merupakan salah satu pendukung utama pembuahan tanaman kakao. Inokulasi *A.chroococcum* dapat memenuhi kebutuhan nitrogen tanaman. Nitrogen

dan fosfor pada jaringan daun tanaman kakao secara tidak langsung meningkatkan pembentukan buah. Kecukupan nitrogen dan fosfor dalam jaringan daun tanaman dapat meningkatkan aktifitas fotosintesis. Dengan demikian memungkinkan jumlah buah yang terbentuk lebih banyak.

Jumlah buah yang terbentuk pada tahun pertama pembuahan kecil dan meningkat setiap tahun sampai pada tahun ke 4-6 sejak produksi pertama (Dias dan Kageyama, 1997). Buah yang terbentuk pada bulan pertama, tidak seluruhnya bertahan sampai panen dan belum mampu menjamin produksi sebab akan mengalami kelayuan dan keguguran buah dalam kurung waktu 1-2 bulan yang biasa disebut *cerella wilt* (Hutcheon, 1976; Nasaruddin 2010). Gugurnya buah-buah muda (*cheriella wilt*) merupakan penyakit fisiologis yang khas dari tanaman kakao yang biasa disebut sebagai *physiological effect thinning*. Tingkat kelayuan dapat mencapai sekitar 60-90% yang umumnya terjadi pada umur buah sampai 50 hari. Kelayuan buah muda pada umumnya terjadi dalam dua tahap yaitu pada umur sekitar 7 minggu setelah pembuahan dan pada umur buah sekitar 10 minggu setelah pembuahan. Buah yang bertahan sampai umur di atas 70 hari setelah pembuahan biasanya telah mencapai ukuran panjang sekitar 10 cm dan umumnya dapat bertahan sampai panen. Pada umur tersebut diduga berkas pengangkut telah terbentuk dengan sempurna dan berfungsi dengan baik.

Hasil percobaan memperlihatkan bahwa perlakuan inokulasi *A. chroococcum* berpengaruh nyata terhadap berat kering per biji KA 7% dan produksi biji per pohon KA 7%. Dosis inokulasi *A. chroococcum* berkorelasi positif secara linier terhadap berat kering per biji dan produksi per pohon. Peningkatan berat kering biji diakibatkan oleh perbaikan

status N dan P dalam daun yang memungkinkan kapasitas daun untuk melakukan fotosintesis. Produksi yang masih rendah disebabkan karena tanaman pada tahap pembuahan pertama dan perkembangan daun yang relatif tinggi mengakibatkan persaingan yang sangat ketat antara buah, daun dan bunga dalam memanfaatkan asimilat hasil fotosintesis. Produktivitas tanaman kakao tergolong rendah karena sebagian besar dari CO₂ yang direduksi pada fotosintesa dilepas melalui fotorespirasi. Besarnya fotorespirasi tanaman kakao diperkirakan sekitar 20-50% hasil fotosintesa (Hutcheon, 1976). Hasil fotosintesa tanaman kakao sebahagian besar dipergunakan untuk menopang pertumbuhan vegetatif tanaman dan hanya sekitar 6% dipergunakan untuk pertumbuhan vegetatif termasuk buah yang dipanen dan buah yang gugur dalam bentuk *cherella wilt*.

Pengaruh Inokulasi *Mikoriza A*

Hasil percobaan menunjukkan bahwa perlakuan inokulasi *Mikoriza A* berpengaruh nyata sampai sangat nyata terhadap jumlah daun, luas daun, indeks luas daun dan produksi biji per pohon. Dosis perlakuan inokulasi *Mikoriza A* 20 g per pohon memperlihatkan jumlah daun, luas daun dan ILD yang lebih tinggi dan berbeda nyata dibanding dengan dosis perlakuan inokulasi lainnya. Pada dosis perlakuan inokulasi *Mikoriza A* 20 g memperlihatkan rata-rata kandungan N, P dan K dalam jaringan daun yang lebih baik (Tabel 4) dan efektifitas peyerapan hara yang lebih tinggi (Tabel 5) dibanding perlakuan lainnya. Kandungan hara N dan P dalam jaringan daun pada saat pertumbuhan dan perkembangan daun sangat menentukan perkembangan daun selama masa perkembangan tunas (*flus*). Kandungan N dan P dalam jaringan daun akan meningkatkan kandungan klorofil daun yang memungkinkan peningkatan

kapasitas fotosintesis daun-daun dewasa.

Selanjutnya pada fase perkembangan daun menuju pendewasaan daun *flush*, kebutuhan Nutrisi relatif tinggi dan akan memperketat persaingan dalam memanfaatkan nutrisi dan asimilat dengan bunga dan tunas apikal (Hamed et al., 1981). Pada fase perkembangan daun *flush* ke pendewasaan daun-daun, komposisi kimia daun kakao dewasa menunjukkan penurunan yang signifikan khususnya N total selama pengembangan flush baru (Santana dan Igue, 1979). Penurunan ini disebabkan peningkatan mobilisasi N untuk daun berkembang. Pada tahap ini, sejumlah besar auksin endogen (Orchard et al., 1981) dan karbohidrat hasil fotosintesis ditranslokasi ke daun *flush* yang sementara berkembang serta bahkan memperlihatkan jumlah karbohidrat yang ditranslokasi lebih tinggi dibandingkan translokasi karbohidrat ke organ pengguna lainnya. (Sleigh, 1981). Jumlah asimilat hasil fotosintesis yang ditranslokasi ke daun *flush* yang sementara berkembang sering melampaui kapasitas fotosintesis daun-daun yang ada. (Machado dan Hardwick, 1988).

Tahap daun telah mengalami perkembangan maksimal, kapasitas kemampuan daun berfotosintesis mencapai maksimum sehingga transpor asimilat dari daun ke jaringan pengguna meningkat. (Baker dan Hardwick, 1975). Pada akhir tahap perluasan daun, sitokinin, yang diimpor dari akar, terakumulasi dalam tunas apikal dan membantu mengaktifkan dormansi tunas apikal dan kembali dimulai siklus pembentukan daun *flush* baru. (Alvim et al., 1974; Orchard et al., 1981). Dengan demikian maka pemenuhan kebutuhan hara dan air pada fase pertumbuhan dan perkembangan daun kakao akan sangat mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman selanjutnya.

Pertambahan jumlah daun, luas daun ILD daun pada dosis inokulasi *Mikoriza A.* yang lebih tinggi kemungkinan disebabkan karena persaingan internal yang semakin ketat antara daun yang sementara berkembang menuju pendewasaan dengan induksi awal meristem apikal untuk memulai perkembangan daun *flush* baru. Tingkat persaingan pemanfaatan nutrisi dan asimilat hasil fotosintesis semakin diperketat pada awal pembentukan bunga dan perkembangan buah yang mengakibatkan penurunan jumlah daun dan luas daun serta ILD daun.

Fase awal pertumbuhan generatif tanaman, daun dan pembentukan daun menjadi faktor penentu. Penelitian yang dilaporkan oleh Sleigh (1981) dan Machado (1986) menunjukkan bahwa persentase hasil reduksi karbon dalam proses fotosintesis oleh daun dewasa diimpor oleh daun dalam perluasan daun cukup besar. Apabila siklus pembentukan daun *flush* berlangsung intensif, maka proporsi asimilat hasil fotosintesis daun dewasa sangat tinggi yang ditranspor untuk pendewasaan daun dan bahkan cenderung seluruh produk asimilat hasil fotosintesis akan dimanfaatkan (Machado 1986). Hal ini yang mendasari peranan pengurangan daun *flush* pada fase pertumbuhan generatif tanaman dalam sistem budidaya kakao melalui pemangkasan produksi menjadi faktor penentu dalam perbaikan produktivitas kakao (Nasaruddin 2010).

Selama penelitian berlangsung pemangkasan tanaman tidak dilakukan kecuali sebelum perlakuan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan inokulasi *Mikoriza A.* berpengaruh nyata terhadap produksi biji kering KA 7% per pohon. Perlakuan inokulasi *Mikoriza A.* 20 g per pohon menunjukkan produksi biji kering yang lebih tinggi dan berbeda

nyata dibanding dengan perlakuan inokulasi lainnya. Produktivitas tanaman kakao tergolong rendah karena sebagian besar dari CO₂ yang direduksi pada fotosintesa dilepas melalui fotorespirasi. Besarnya fotorespirasi tanaman kakao diperkirakan sekitar 20-50% hasil fotosintesa (Hutcheon, 1976). Hasil fotosintesa tanaman kakao sebahagian besar dipergunakan untuk menopang pertumbuhan vegetatif tanaman dan hanya sekitar 6% dipergunakan untuk pertumbuhan vegetatif termasuk buah yang dipanen dan buah yang gugur dalam bentuk *cherella wilt*. Dengan demikian alokasi dan distribusi asimilat hasil fotosintesis akan menentukan tingkat produksi kakao per pohon. Tingginya tingkat persaingan internal tanaman dalam memanfaatkan hasil fotosintesis antara pembentukan daun, bunga, buah dan perkembangannya akan sangat menentukan produktivitas tanaman.

Interaksi *A.chroococcum* dan *Mikoriza A*

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan inokulasi *A. chroococcum* dan *Mikoriza A*. tidak berpengaruh nyata terhadap komponen parameter pengamatan yang dilakukan. Hal ini kemungkinan disebabkan karena pengamatan yang dilakukan pada percobaan III ini lebih banyak pada komponen perkembangan organ vegetatif di atas permukaan tanah dan komponen pertumbuhan generatif tanaman. Hasil percobaan II pada tahap pembibitan menunjukkan bahwa interaksi perlakuan berpengaruh nyata sampai sangat nyata terhadap perkembangan sistem perakaran tanaman sedang perkembangan organ vegetatif tanaman di atas permukaan tanah pada umumnya tidak memperlihatkan pengaruh yang nyata. Pengaruh perlakuan inokulasi ganda *A. chroococcum* dan *Mikoriza A*. memperlihatkan pengaruh yang cukup besar terhadap ketersediaan

hara, efektifitas serapan hara dan tingkat infeksi akar oleh *Mikoriza A*. Berbagai penelitian telah membuktikan bahwa efektifitas simbiosis tanaman dengan sejumlah organisme rizosfer dari kelompok PGPR termasuk *A. chroococcum* dipengaruhi *Mikoriza A*. (Walley dan Germida, 1997; Barea et al., 2002, 2005; Vessey, 2003). Kegiatan PGPR seperti *A. chroococcum* tergantung pada asosiasi mereka dengan organisme rizosfer lain, terutama *Mikoriza A*. (Roesti et al., 2006). Sejumlah studi menemukan bahwa asosiasi menguntungkan antara PGPR dengan *Mikoriza A*. meningkatkan pertumbuhan tanaman dan serapan hara (Kim et al., 1998; Rodríguez-Romero et al., 2005; Roesti et al., 2006; Adesemoye dan Kloepper, 2009). Hasil pengujian laboratorium (Tabel 4), menunjukkan bahwa inokulasi ganda *A.chroococcum* dan *Mikoriza A*. memperlihatkan tingkat perbaikan karakteristik tanah dibanding inokulasi tunggal. Efektifitas serapan hara mengalami peningkatan yang cukup tinggi ada perlakuan inokulasi ganda *A.chroococcum* dan *Mikoriza A*.

Pengetahuan mekanisme interaksi menguntungkan dari inokulasi ganda antara CMA dengan PGPR terhadap pertumbuhan tanaman masih sangat terbatas. (Toro et al., 1997; Barea et al., 2005; Richardson et al., 2009). *Azotobakter* menghasilkan beberapa *phytohormones* yang dapat meningkatkan kolonisasi *Mikoriza A* dengan meningkatkan luas permukaan akar dan kerentanan tanaman terhadap penetrasi hifa *Mikoriza A* (Toro et al., 1997; Barea et al., 2002). Selain itu, beberapa PGPR menghambat pertumbuhan patogen yang dapat mengganggu hubungan simbiosis *Mikoriza A* dengan tanaman (Vessey, 2003).

Efek menguntungkan dari *A. chroococcum* dan *Mikoriza A*. biasanya berhubungan dengan kemampuan

Mikoriza A untuk melayani sebagai perantara antara P dilarutkan oleh PGPR dan tanaman inang (Toro et al., 1997; Barea et al., 2002, 2005). Barea et al. (2005) melaporkan keterlibatan beberapa spesies *Mikoriza A* dalam pembentukan *rhizobakteri* bermanfaat berdasarkan peran mereka dalam stabilisasi aegat. *Mikoriza A* memberikan ruang pori dihuni bakteri (Rillig dan Mummey, 2006), Dengan demikian meningkatkan pertumbuhan oleh inokulasi *A. chroococcum* dan *Mikoriza A*. merupakan pengaruh interaksi *A. chroococcum* dan *Mikoriza A* secara terintegrasi dengan *Mikoriza A* memodifikasi konsentrasi hara dan mobilitas nutrisi yang selanjutnya dapat di manfaatkan oleh akar tanaman untuk mendukung pertumbuhan tanaman inang secara keseluruhan.

KESIMPULAN

1. *A. chroococcum* 40 x 10³ CFU berpengaruh sangat nyata terhadap jumlah daun, jumlah bunga, jumlah buah yang terbentuk per pohon, berat kering per biji, produksi biji per pohon KA 7% dan berpengaruh nyata terhadap luas daun serta berpengaruh tidak nyata terhadap jumlah buah panen per pohon dan rata-rata jumlah biji per pohon.
2. *Mikoriza A* 20 g per pohon berpengaruh nyata terhadap jumlah daun, produksi biji per pohon KA 7%. Berpengaruh tidak nyata terhadap luas daun, indeks luas daun, jumlah bunga, jumlah buah yang terbentuk per pohon, jumlah buah panen per pohon, jumlah biji per buah, berat kering per biji.
3. Interaksi inokulasi *A. chroococcum* dan *Mikoriza A* berpengaruh tidak nyata terhadap jumlah daun, luas daun dan indeks luas daun, jumlah bunga, jumlah buah yang terbentuk per pohon, jumlah buah panen per pohon, berat kering per biji, produksi biji per pohon KA 7%, dan rata-rata jumlah biji per buah.
4. Inokulasi *A. chroococcum* dan *Mikoriza A* mengakibatkan peningkatan pH tanah, kandungan C organik, N organik, kandungan P₂O₅ dan kandungan K tanah.
5. Peningkatan serapan hara N, P dan K tertinggi pada inokulasi *A. chroococcum* 40 x 10³ CFU dan *Mikoriza A* 20 g per pohon.

DAFTAR PUSTAKA

- Abo-Hamed, S., Collin, H.A, Hardwick, K., 1981. Biochemical and Physiological Aspect of Leaf Development in Cocoa (*Theobroma cacao*) IV. Hormond Interactio Between mature Leaves and The Shoot Apex. *New Phytologist*, 89:191-200.
- Adesemoye, A.O and J.W. Kloepper, 2009. Plant-microbes Interactions In Enhanced Fertilizer-Use Efficiency. *Appl. Microbiol. Biotechnol*, 85:1-2.
- Aneja M, T. and E Gianfagna Ng. 1999. The roses of abscisic acid and ethylene in the abscission and senescence of cocoa flowers. *Plant Growth Regul.* 27:149-155
- Allemanno, L., T. Ramos, A Hutcheon,W,F., 1973. Breeding for Tolerance of Exposure and The Ability to Respond ti Increased Radiation. In: Annual Report, *Cocoa Res. Inst, Ghana*, pp.203-204.
- Alvim R, P.T Alvim, R. Lorenzi, P.F. Saunders. 1974. The possible role of abscisic and cytokinins in growth rhythms of *Theobroma cacao* L. *Rev.Theobroma*, 4:3-12.
- Alvin, P, de T 1984, Flowring of cocoa, Cocoa growers, *Bull*, 35, 23-31.

- Alemanno L. T. Romas, A Gargadenec, C. Andary, N. Ferrie .2003. Localization and indentification of phenolic compounds in *Theobroma cacao* L. somatic embryogenesis. *Ann. Bot.* 92:613-623.
- Autursson V., R.D Finlay and J.K Jahnsen, 2006. Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and bacteria and their potential for stimulation plant growth. *Envirwth. Enviromental Microbiologi*, pp.1-10.
- Badan Pusat Statistik Republik Indonesia, 2012. Perkebunan, Luas dan Produksi Tanaman Perkebunan Menurut Provinsi dan Jenis Tanaman Indonesia. [diakses 27 Mei 2013 pada situs www.bps.go.id].
- BBP2TP Surabaya, 2009. Pengembangan Metode Formulasi Jamur Mikoriza. [diakses 26 April 2010 pada situs http://ditjenbun.deptan.go.id/bbp2tpsur/index.php?Option=com_content&view=article&id=37:pengembangan-metode-formulasi-jamur-mikoriza&catid=6:iptek&Itemid=24].
- Baker, N.R and Hardwick, K., 1973. Biochemical and Physiological Aspect of Leaf Development in Cocoa (*Theobroma cacao*). I. Development of Chlorophyll and Photosynthetic Activity. *New Phytol.* 72:1315-1324.
- Baker N.R, K. Hardwick. 1975. Biochemical and physiological aspects of leaf development in cocoa (*Theobroma cacao*). III. Changes in soluble sugar content and sucrose synthesizing capacity. *New Phytol.* 75:519-524.
- Barea, J.M., R. Azcon, and C. Azcon-Aguilar. 2002. Mycorrhizosphere interactions to improve plant fitness and soil quality. *Anton. Leeuw.* 81:343-351.
- Barea, J.M., M.J. Pozo, R. Azcon, and C. Azcon-Agu. 2005. Microbial co-operation in the rhizosphere. *J. Exp. Bot.* 56:1761-1778.
- Dias L A S, P.Y. Kageyama. 1997. Temporal stability of multivariate genetic divergence in cacao (*Theobroma cacao* L.) in Southern Bahia conditions. *Euphytica* 93:181-187.
- Direktorat Jenderal Perkebunan. 2011. Statistik Perkebunan 2009-2011. Pusat Data dan Informasi pertanian, Kementerian Pertanian. Jakarta.
- Dube, W.V., 1997. Restricted Stimulus Control and Stimulus-Reinforcer Relations. *Experimental Analysis of Human Behavior Bulletin*, 15:8-11.
- Hindersah, R dan T. Simarmata, 2004. Kontribusi *Rizobakteri Azotobacter* dalam Meningkatkan Kesehatan Tanah Melalui Fikasasi N₂ dan Produksi Fitohormon di *Rizofir*. *Jurnal Natur Indonesia*, 6:127-133.
- Hutcheon W.V., 1976. A frame work for the physiology of cocoa. *Growers Bull*, 24, 5-11.
- Jadin P., J. Snoeck J. 1985. La methode du diagnostic sol pour calculer les besoins en engais des cacaoyers, *café, cacao*. *The* 29 (4), 255-272, Paris, France.
- Kementerian Perindustrian, 2013. Industri Kakao Mampu Meningkatkan Devisa Negara. [diakses 24 April 2014 pada situs <http://www.kemenperin.go.id>].

- Kementerian Pertanian, 2013. Luas Areal, Produksi dan Produktivitas Perkebunan di Indonesia. [diakses 24 April 2014 pada situs <http://www.pertanian.go.id>].
- Keil A, M. Zeller, A. Wida, B. Sanin, R Birner. 2008 What determines farmers resilience towards ENSO-related drought An empirical assessment in central Sulawesi, Indonesia. *Clim Change*, 86:291-307.
- Kim, K. Y., D. Jordan, and G.A. McDonald. 1998. Effect of phosphate solubilizing bacteria and vesicular-arbuscular mycorrhizae on tomato growth and soil microbial activity. *Biol. Fertil. Soil*. 26:79-87.
- Kizilkaya R. 2009. Nitrogen fixation capacity of Azotobacter spp, strains isolated from soils in different ecosystem and relationship between them and the microbiological properties of soils. *J. Environ. Biol* 30(1), ISSN:0254-8704 Triveni Enterprises, Lucknow (India). 73-82 (2009) <http://www.jeb.co.in>.
- Kloepper, J.W., Tuzun, S., and Kuc, J.A., 1992. Proposed Definitions Related to Induced Disease Resistance. *Biocontrol Sci. Technol*, 2:349-351.
- Lucy, M., E. Reed and B.R. Glick, 2004. Applications of Free Living Plant Growth Promoting *Rhizobacteria*. *Antonie Vanleewenhoek*, 86(1):11-25.
- Machado, F.C.R., 1986. Carbohydrate As A Factor Controlling Leaf Development in Cocoa. PhD Thesis, University of Liverpool, UK.
- Machado, F.C.R and K.Hardwick, 1988. Does Carbohydrate Availability Control Flush Growth in Cocoa. In: Proc. 10th Int. Cocoa Res.Conf., Santo Domingo, *Dominican Republic*, pp.151-157.
- Mader, P., K. Franziska, A. Alok, S. Renna, S.U. Haminder, K.S. Anil, S. Rashmi, S.Vikram, A. Michel, W. Andres, N.J. Bhavdish, M.F. Padruot, 2010. Inoculation of Root Microorganisms for Sustainable Wheat-Rice and Wheat-Black Gram Rotations in India. This Research Project Was Funded by The Swiss Agency for Development and Cooperation, Government of Switzerland and The Development of Biotechnology, Government of India Under The Indo-Swiss Collaboration in Biotechnology (ISCB).
- Miransari, M., 2010. Arbuscular Mycorrhiza and Soil Microbes: In Biotechnology Thangadurai, D.Carlos, A.B and Mohamed, H., 2010. (eds). *Mycorrhizal, Science Publisher* P.O.Box 699, Enfield, NH 03748, Enfield, New Hampshire USA An Imprint of Edenbridge Ltd., British Channel Island Enfield, New Hampshire USA.
- Mirzakhani, M., M.R. Ardakari, A. Aeene Band, F. Rejali and A.H. Shirani Rad, 2009. Response of Spring Safflower to Co-Inoculation With Azotobacter chroocum and Glomus intraradices Under Different Levels of Nitrogen and Phosphorus. *American Journal of Agricultural and Biological Science* 4(3):255-261.

- Munoz, F and J.Beer, 2001. Fine Root Dynamics of Shaded Cacao Plantations in Costa Rica. *Agrofor. Syst*, 51:119-130.
- Nasaruddin, Salengke, A. Sulili, B.D.R.M Farid dan Y. Musa, 2009. Strategi Peningkatan Produksi dan Mutu Kakao Sulawesi Selatan. Kerjasama Lembaga Penelitian UNHAS dengan BALITBANDA Sulawesi Selatan. Lembaga Penelitian UNHAS, Makassar.
- Nasaruddin, 2010. Kakao, Budidaya dan Beberapa Aspek Fisiologisnya. Jurusan Budidaya Pertanian Yayasan Fore Indonesia, Jakarta.
- Nasaruddin dan Rosmawati, 2011. Pengaruh Pemberian Pupuk Organik Cair (POC) Hasil Fermentasi Daun Gamal, Batang Pisang dan Sabut Kelapa Terhadap Pertumbuhan Bibit Kakao. *Jurnal Agrisistem, Seri Hayati No.1*.
- Orchard, J.E., H.A.Collin and K. Hardwich, 1981. Biochemical and Hysiological Aspect of Leaf Development in Cacao (*Theobrama cacao*). V. Changes in Auxins and Cytokinis. *Cafe cacao The*, 25:25-28.
- Richardson, A.E., J.M. Barea, A.M. Riling, M.C and D.L Mummey, 2006. *Mycorrhizas* and Soil Structure. *New Phytol*, 171:41-53.
- Ruhnayat, A., 1999. Pemanfaatan *Azotobacter* dan Mikroba Pelarut P Sebagai Sumber Hara N dan P pada Tanaman Lada. Laporan Teknis Penelitian Balitro Buku II.235-244.
- Ruhnayat, A., 2007. Effect of *Azotobacter*, Bat Guano and Glycidia Compost On The Growth of Bushy Black Pepper (*Piper nigrum* L.). Prosiding Seminar XIII Persada. Fak. Kedokteran Hewan IPB.249-252.
- Rodriguez-Romero, J., F. Galven-Magana, A. Abitia-Cardenas, A. Muhlia-Melo, F.J. Gutierrez-Sanchez and Gracia-Lopez, 2005. Fish Assemblages Arround Espiriti Santo Island and Espiritito Santo Seamount in The Lower Gulf of California. *Bull. Mar, Sci*, 77(1):33-50.
- Roesti, D., R.Gaur, B.N. Johri, G.Imfeld, S. Sharma, K.Kawaljeet and M. aragno, 2006. Plant Growth Stage, Fertilizer Management and Bioinnoculation of Arbuscular mycorrizal Fungi and Plant Growth Promoting Rhizobateria Effect The Rhizobacterial Community Structure in Rain-Fed Wheat Fields. *Soil Biol. Biohmen*, 38:1111-1120.
- Sasli, I., 1999. Tanggap Karakter Morfologi dan Fisiologi Bibit Kakao Terhadap Cekaman Kekeringan dan Aplikasi *Mikoriza arbuskula*. Tesis, Institut Pertanian Bogor.
- Santana, M.B.M and K. Igue, 1979. Composicao quimicia das folhas do cacaeiro em funcao da idade e da epoca do ano. *Rev. Theobrama* 9:63-76.
- Scheublin, T.R., Ridgway, K.P., and P.M. Young, 2004. *dalam Aplied and Environmental Microbiology*, Thangadurai. D Carlos A.B. Mohamed H. 2010. Mychorrhizal Biotechnology. Science Publisher, Enfield, New Hampshire USA An imprint of Edenbridge Ltd., British Channel Island.
- Singh, H.P., Batish, D.R and Kohli, R.K., 2003. Allelopathic Interaction and Allelochemicals: New Possibilities

- For Sustainable Weed Management. *Crit. Rev. Plant Sci*, 22:239-311.
- Sleigh, P.A., K. Hardwick and H.A Collin, 1981. A study of growth periodicity in cocoa seedlings with particular emphasis on the root system. *Cafe Cacao The* 25:169-172.
- Smith, E and D.J. Read, 2008. **Mycorrhizal Symbiosis (third ed)**, Academic Press, London.
- Thangadurai, D., Carlos A.B and Mohamed, H., 2010. **Mycorrhizal Biotechnology**. CRC Press Taylor and Francis an Informa Business.
- Toro, M., R. Arcon and J.M. Barea, 1997. Improvement of arbuscular mycorrhiza development by inoculation of soil with phosphatase solublizing rhizobacteria to improve rock phosphate bioavailability and nutrient cycling. *Appl. Environ. Microbol.* 63:4408-4412.
- Vessey, J.K, 2003. Plant growth promoting *rhizobacteria* as biofertilizers. *Plant Soil*, 255:571-586.
- Walley, F.L and J.J. Germida, 1997. Response of spring wheat (*Triticum aestivum*) to interactions between *Pseudomonas* species and *Glomus clarum* NT4. *Biol. Fertil. Soils*:24:365-371.
- Zare, M., K. Ordoorkhani and O. Alizadeh, 2011. Effect of PGPR and AMF on Growth of Two Bred Cultivars of Tomato. *Advances in Environmental Biology*, (58):2177-2181.