

Pengaruh Pupuk Hayati Berbasis Jamur Mikoriza Arbuskular dan Rhizobakteri Pemacu Pertumbuhan Tanaman terhadap Pertumbuhan Bibit Kakao (*Theobroma cocoa* L.)

(Effect of Bio Fertilizer based on Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Plant Growth Promoting Rhizobacteria on the Growth of Cocoa Seedlings [*Theobroma cocoa* L.]

Tiwit Widowati^{1)*}, Tirta Kumala Dewi²⁾, Sylvia Josephine Ruth Lekatompessy¹⁾, Sarjiya Antonius²⁾

¹⁾ Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI, Jalan Raya Bogor KM 46 Cibinong Bogor 16911, Telp.: (021) 8754587, Fax.: (021) 8754588, ²⁾ Pusat Penelitian Biologi LIPI, Jalan Raya Bogor KM 46 Cibinong Bogor 16911

E-mail: tiwidowati@gmail.com

ABSTRACT

One effort to improve quality of cocoa seedlings is application of bio fertilizer during the nursery. Nutrient supply is essential for growth and development of cocoa seedlings at nursery and field after transplanting. The aim of this research is to determine effect of bio fertilizer application to growth of cocoa seedlings. The study used a completely randomized design with 4 treatments and 15 replications. The treatments were no fertilization (P₁), chemical fertilization (P₂), bio fertilizer every 2 weeks (P₃) and bio fertilizer every 1 month (P₄). The result showed that application of bio fertilizer every 2 weeks and 1 month can increase height, diameter and dry weight of cocoa seedlings on first until fourth months after fertilization. The Mycorrhizal Dependency (MD) of cocoa seedlings was classified as moderately dependent (27,04–45,86%). The highest colonization of arbuscular mycorrhizal fungi on roots cocoa resulted by P₄ treatment about 33,92%.

Keywords: bio fertilizer, cocoa seedlings, growth

DOI: <http://dx.doi.org/10.25181/jaip.v8i1.1371>

Diterima: 16 September 2019 / Disetujui: 19 Februari 2020 / Diterbitkan: 12 Mei 2020

PENDAHULUAN

Tanaman kakao (*Theobroma cocoa* L.) adalah tanaman yang biasanya tumbuh di daerah tropis. Kakao mempunyai peranan penting bagi perekonomian nasional, pengembangan daerah dan agro-industri. Indonesia adalah salah satu negara penghasil kakao terbesar ketiga di dunia setelah Pantai Gading dan Ghana (Wahyudi *et al.*, 2013). Produksi kakao Indonesia sangat terkenal di pasar kakao dunia karena biji kakao Indonesia mengandung epicatechin dan kapasitas antioksidan lebih tinggi daripada negara-negara lain (Othman *et al.*, 2010). Hal ini dapat meningkatkan daya saing kakao Indonesia di pasar internasional menjadi lebih baik.

Produksi dan produktivitas kakao Indonesia cenderung menurun. Penurunan tersebut dipengaruhi oleh banyak faktor, diantaranya bahan dan pengelolaan tanaman, pemupukan, serangan

hama penyakit dan pasca panen (Rubiyo & Siswanto, 2012). Oleh karena itu perlu mengelola benih berkualitas dengan penambahan bahan lain yang dapat meningkatkan kualitas dan kuantitas kakao. Salah satu usaha untuk meningkatkan kualitas bibit kakao dapat dilakukan dengan aplikasi pupuk bio selama pembibitan. Pasokan nutrisi yang cukup sangat penting bagi pertumbuhan dan perkembangan kakao di pembibitan dan setelah dipindahkan di lapang (Famuwagun & Titilayo, 2016).

Pupuk hayati adalah kultur mikroba yang dapat digunakan sebagai inokulan untuk meningkatkan kesuburan dan produktivitas tanaman dan tanah. Inokulan mengandung sel hidup atau bersifat dorman yang dapat diaplikasikan ke tanah atau benih. Inokulan mikroba yang digunakan dalam pupuk hayati termasuk jamur mikoriza arbuskular (JMA) dan rhizobakteri pemacu pertumbuhan tanaman (RPPT). Jamur mikoriza arbuskular (JMA) diketahui mempunyai peranan penting dalam meningkatkan pertumbuhan, kualitas hasil tanaman pertanian, hortikultura, kehutanan, memulihkan degradasi lahan dan menstabilkan ekosistem dataran tinggi (Gianinazzi *et al.*, 2010). Simbiosis antara JMA dan tanaman dapat meningkatkan toleransi tanaman terhadap cekaman abiotik, nutrisi tanaman dan perlindungan terhadap kerusakan oksidatif yang disebabkan oleh cekaman air (Ruiz-Lozano *et al.*, 2012).

Jamur mikoriza yang mengkolonisasi tanaman dapat juga berinteraksi dengan beberapa mikroba tanah termasuk rhizobakteri pemacu pertumbuhan tanaman (RPPT) sehingga tanaman lebih toleran terhadap cekaman (Nadeem *et al.*, 2013). RPPT dapat memacu pertumbuhan, meningkatkan hasil dan mengurangi infeksi patogen, cekaman biotik dan abiotik. Inokulasi RPPT juga berperan dalam perlindungan tanaman, pemacu pertumbuhan dan pengendalian penyakit secara biologi (Laslo *et al.*, 2012). Beberapa penelitian menyebutkan bahwa genus *Azospirillum*, *Bacillus*, *Pseudomonas* dan *Rhizobia* adalah kelompok RPPT. Inokulasi RPPT dapat meningkatkan hasil melalui serapan N, meningkatkan pertumbuhan akar dan jumlah rambut akar.

Aplikasi pupuk hayati berupa kombinasi JMA dan RPPT dapat lebih efektif dan optimal jika proses inokulasi dilakukan pada masa pembibitan sehingga ketika dipindahkan ke lapang, tanaman akan tumbuh lebih baik. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh aplikasi pupuk hayati kombinasi JMA dan RPPT terhadap pertumbuhan bibit kakao.

METODE PENELITIAN

Percobaan dilakukan di tempat pembibitan Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI pada bulan Agustus 2018 sampai dengan Januari 2019. Bahan penelitian yang digunakan adalah benih kakao jenis lokal yang diperoleh dari petani daerah Sukabumi; pupuk hayati berisi RPPT (*Bacillus* sp. dan *Pseudomonas* sp.) dari Laboratorium Mikrobiologi Pertanian, Pusat Penelitian Biologi LIPI; jamur mikoriza arbuskular (JMA) dari Laboratorium Mikroba Simbiotik Tanaman, Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI. Inokulum JMA berisi campuran spora, akar terinfeksi, hifa dan media tanam. Inokulum bakteri ditumbuhkan dalam media *Tryptone Soy Broth* (TSB) dan diinkubasi pada suhu

28°C selama 48 jam. Konsentrasi inokulum sekitar 10^8 CFU mL⁻¹. Pupuk anorganik yang digunakan adalah NPK majemuk. Media yang digunakan adalah lapisan atas tanah dari kebun percobaan Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI, Cibinong Bogor dengan karakteristik seperti Tabel 1. Hasil analisis tanah berdasarkan kriteria yang ditetapkan oleh Balai Penelitian Tanah (2009).

Tabel 1. Karakteristik tanah dari Cibinong, Bogor

Parameter	Nilai	Kriteria
pH H ₂ O (1:5)	6,02	Netral
pH KCl (1:5)	5,35	Agak asam
C-organik (%)	2,75	Sedang
N total (%)	0,07	Sangat rendah
P tersedia Bray (ppm)	9,87	Sedang
K-dd (cmol(+) kg-1)	1,21	Sangat tinggi
Ca-dd (cmol(+) kg-1)	13,53	Tinggi
Mg-dd (cmol (+) kg-1)	2,59	Tinggi
Na-dd (cmol(+) kg-1)	0,10	Rendah
KTK-dd (cmol(+) kg-1)	26,66	Tinggi

Percobaan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 4 perlakuan dan 15 ulangan. Perlakuan terdiri dari tanpa pemupukan (P₁), pupuk anorganik (P₂), pupuk hayati (JMA + RPPT) setiap 2 minggu (P₃), dan pupuk hayati setiap 1 bulan (P₄). Data dianalisis menggunakan program SPSS versi 11.5 dan dilanjutkan dengan uji BNT jika perlakuan menunjukkan pengaruh nyata. Uji BNT digunakan untuk membandingkan pengaruh pemupukan terhadap pertumbuhan kakao.

Benih kakao digosok dengan pasir dan dicuci dengan air untuk menghilangkan lendir. Benih kakao ditanam dalam baki berisi tanah setinggi 20 cm dengan jarak 5 cm x 3 cm. JMA diaplikasikan dalam baki benih pada awal percobaan. Benih ditanam dengan posisi mata radikula menghadap ke bawah. Penyiraman dilakukan 2 kali sehari, pagi dan sore.

Percobaan menggunakan polibag ukuran 15 x 20 cm yang diisi dengan 1 kg tanah. Bibit kakao berumur 1 bulan dipindahkan ke polibag yang sudah diisi media tanam. Setiap polibag diinokulasi dengan 2 gram inokulum JMA sebelum bibit ditanam, untuk perlakuan pupuk hayati. Aplikasi RPPT dilakukan dengan cara 25 ml inokulum diencerkan dalam 1 liter air dan disiramkan pada media tanam dengan interval waktu sesuai perlakuan. Pupuk anorganik (NPK majemuk) diberikan sebanyak 2 g.polibag⁻¹. Pemupukan dilakukan 1 bulan setelah tanam di polibag. Bibit kakao ditumbuhkan selama 5 bulan di bawah paranet 55%.

Parameter pengamatan dalam percobaan ini adalah tinggi dan diameter tanaman, berat kering akar dan tajuk serta kolonisasi akar. Tinggi tanaman diukur dari pangkal batang hingga ujung pucuk

tertinggi. Diameter batang diukur pada pangkal batang yang telah diberi tanda setinggi 1 cm dari media tanam. Pengukuran dilakukan pada umur 1–4 bulan setelah pemupukan. Pengukuran berat kering tanaman dilakukan pada bulan ke-5 setelah tanam. Akar dan tajuk dipisahkan dan ditimbang kemudian dimasukkan ke dalam oven pada suhu 70°C selama 3 x 24 jam sampai beratnya konstan.

Kolonisasi akar yang terinfeksi JMA dapat diketahui dengan cara pewarnaan akar terlebih dahulu kemudian dihitung menggunakan rumus (Phillips & Hayman, 1970):

$$\text{Kolonisasi akar (\%)} = \frac{\text{Jumlah akar terinfeksi}}{\text{Jumlah akar diamati}} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

Ketergantungan bibit tanaman kakao terhadap JMA (Mycorrhizal Dependency (MD) dihitung dengan rumus berdasarkan Plenchette *et al.* (1983):

$$\text{KBTM (\%)} = \frac{\text{BKT bermikoriza} - \text{BKT kontrol}}{\text{BKT bermikoriza}} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

KBTM = Ketergantungan Bibit Tanaman terhadap JMA

BKT = Berat Kering Tanaman

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perlakuan pupuk anorganik dan hayati berpengaruh nyata terhadap tinggi kakao dibandingkan kontrol (tanpa perlakuan) (Tabel 2). Pupuk anorganik memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap tinggi tanaman dari bulan ke-1 sampai ke-4 setelah pemupukan. Perlakuan pupuk hayati setiap 2 minggu sekali memberikan pengaruh yang hampir sama dengan pupuk anorganik terhadap tinggi tanaman. Tinggi tanaman kakao yang diberi perlakuan pupuk hayati setiap 1 bulan (P₄) lebih tinggi daripada kontrol.

Tabel 2. Tinggi tanaman kakao setelah pemupukan

Perlakuan	Tinggi tanaman (cm)			
	Bulan 1	Bulan 2	Bulan 3	Bulan 4
Tanpa pemupukan (P ₁)	21,427 a	26,120 a	30,73 a	33,567 a
Pupuk anorganik (P ₂)	24,267 b	33,667 c	40,81 c	42,040 b
Pupuk hayati (JMA + RPPT) setiap 2 minggu (P ₃)	24,120 b	32,180 bc	35,07 bc	37.713 ab
Pupuk hayati setiap 1 bulan (P ₄)	22,427 ab	30,100 b	34,43 ab	37,853 ab

Keterangan: Nilai rata-rata yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata dengan uji BNT pada taraf 5%.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian pupuk hayati berupa kombinasi JMA dan RPPT berpengaruh positif terhadap tinggi bibit kakao dari bulan ke-1 sampai ke-4. Interaksi JMA

dan RPTT seperti *Bacillus* sp. dan *Pseudomonas* sp. yang mampu memfiksasi nitrogen akan meningkatkan ketersediaan unsur N dalam tanah sehingga dapat menstimulasi panjang dan biomasa batang, akar dan daun (Radhakrishnan *et al.*, 2017).

Perlakuan pupuk anorganik dan hayati berpengaruh nyata terhadap diameter kakao dari bulan ke-1 dibandingkan kontrol (Tabel 3). Perlakuan P₃ berpengaruh sangat nyata terhadap diameter bibit kakao dari bulan ke-1 sampai ke-4 dibandingkan perlakuan lainnya. Perlakuan pupuk anorganik (P₂) memberikan pengaruh yang hampir sama dengan kontrol pada bulan ke-1 dan ke-2, namun pada bulan berikutnya pengaruhnya sangat nyata terhadap diameter bibit kakao. Perlakuan P₄ memberikan pengaruh yang lebih baik terhadap diameter bibit kakao daripada P₁ dari bulan ke- hingga ke-4 setelah pemupukan.

Tabel 3. Diameter tanaman kakao setelah pemupukan

Perlakuan	Diameter tanaman (cm)			
	Bulan 1	Bulan 2	Bulan 3	Bulan 4
Tanpa pemupukan (P ₁)	5,00 a	5.839 a	6,8527 a	8,378 a
Pupuk anorganik (P ₂)	5,067 ab	6,313 ab	7,9927 b	9,401 b
Pupuk hayati (JMA + RPPT) setiap 2 minggu (P ₃)	5,367 b	6,587 b	8,0580 b	9,425 b
Pupuk hayati setiap 1 bulan (P ₄)	5,367 b	6,243 ab	7,6520 ab	9,194 b

Keterangan: Nilai rata-rata yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata dengan uji BNT pada taraf 5%.

Pemberian pupuk hayati berupa inokulan JMA dan RPPT juga berpengaruh positif terhadap diameter bibit kakao. Pertumbuhan diameter tanaman dipengaruhi oleh unsur P dan K (Firmansyah *et al.*, 2017). JMA mampu meningkatkan ketersediaan unsur hara dan nutrisi khususnya P bagi tanaman sehingga efektivitas pupuk hayati tersebut terhadap bibit kakao terlihat dari respon pertumbuhannya. Pertumbuhan diameter batang yang baik akan mampu menopang pertumbuhan dan perkembangan tanaman.

Perlakuan pupuk anorganik (P₂) dan pupuk hayati (P₃ dan P₄) berpengaruh sangat nyata pada berat kering akar dan tajuk bibit kakao dibandingkan dengan kontrol (Tabel 4). Hasil menunjukkan bahwa ketergantungan bibit kakao terhadap jamur mikroriza antara sedang - tinggi menurut kategori yang dikemukakan oleh Cruz *et al.* (1999).

Berdasarkan data tersebut terlihat bahwa pupuk hayati berperan penting di awal pertumbuhan dan meningkatkan biomasa bibit tanaman kakao. Interaksi antara JMA dan RPPT mampu meningkatkan unsur hara bagi tanaman. RPPT seperti *Bacillus* sp. dan *Pseudomonas* sp. dapat bertindak sebagai pupuk hayati dengan cara memfiksasi nitrogen, melarutkan fosfat dan unsur hara lain serta biostimulan dengan cara menghasilkan hormon pertumbuhan seperti IAA, giberelin, sitokinin sehingga mampu menunjang pertumbuhan tanaman (Widnyana & Javandira, 2016). Selain

itu, JMA mampu menyediakan unsur hara terutama P yang penting dalam proses metabolisme tanaman. Pengaruh kombinasi pupuk hayati tersebut berpengaruh terhadap berat kering bibit kakao.

Tabel 4. Berat kering bibit kakao

Perlakuan	Berat kering (gram)			KBTM (%)
	Akar	Tajuk	Tanaman	
Tanpa pemupukan (P ₁)	5,47 a	12,20 a	17,53 a	0
Pupuk anorganik (P ₂)	7,20 b	18,47 c	25,67 b	0
Pupuk hayati (JMA + RPPT) setiap 2 minggu (P ₃)	7,33 b	14,93 b	22,27 b	27,04
Pupuk hayati setiap 1 bulan (P ₄)	7,33 b	15,30 b	25,57 b	45,86

Keterangan: Nilai rata-rata yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata dengan uji BNT pada taraf 5%.

Ketergantungan bibit tanaman terhadap mikoriza (MD) mengacu pada tingkat respon tanaman terhadap kolonisasi akar mikoriza dengan menghasilkan pertumbuhan atau hasil maksimum pada tingkat kesuburan tanah tertentu (Plenchette *et al.*, 1998). Cruz *et al.* (199) mengklasifikasikan MD dalam tiga yaitu ketergantungan tinggi (MD > 40%), ketergantungan sedang (10 < MD < 40%) dan tidak tergantung ($\leq 10\%$). MD bibit kakao yang diperoleh dari hasil penelitian ini lebih rendah dibandingkan dengan hasil penelitian Suparno *et al.* (2015) yang mendapatkan MD bibit kakao sebesar 115,48%. MD dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya varietas dan kemampuan tanaman inang dalam memanfaatkan fosfat, morfologi dan fisiologi akar serta jenis jamur mikoriza (Tewaraya, 2003).

Efektivitas JMA pada tanaman inang ditandai oleh kemampuan jamur mikoriza dalam mengkolonisasi akar tanaman inang. Kolonisasi JMA tertinggi pada akar bibit kakao terdapat pada perlakuan P₄ sebesar 33,92% kemudian diikuti oleh perlakuan P₃ sebesar 20,8% (Tabel 5). Pada perlakuan tanpa JMA (P₁ dan P₂) menunjukkan adanya infeksi akar bibit kakao oleh mikoriza dengan persentase rendah. Hal ini diduga tanah yang digunakan sebagai media tanam dalam penelitian ini mengandung JMA yang ikut terbawa dari lahan.

Tabel 5. Kolonisasi JMA pada akar bibit kakao

Perlakuan	Kolonisasi (%)	Keterangan
Tanpa pemupukan (P ₁)	3,38	Sangat rendah
Pupuk anorganik (P ₂)	6,21	Rendah
Pupuk hayati (JMA + RPPT) setiap 2 minggu (P ₃)	20,8	Sedang
Pupuk hayati setiap 1 bulan (P ₄)	33,92	Sedang

Sumber: The Institute of Mycorrhizal Research and Development, USDA; sangat rendah (0–5%), rendah (6–25%), sedang (25–50%), tinggi (50–75%), dan sangat tinggi (>75%).

Meningkatnya pertumbuhan bibit kakao pada perlakuan JMA diakibatkan kemampuan JMA dalam membentuk simbiosis mutualisme dengan akar bibit kakao. Simbiosis antara JMA dengan akar tanaman akan membentuk interaksi yang kompleks dimana mikoriza akan merangsang pertumbuhan akar dan membantu penyerapan hara dan air untuk pertumbuhan tanaman. Penelitian Nasarudin (2012) membuktikan bahwa inokulasi JMA sampai 10 g per tanaman berkorelasi positif terhadap pertumbuhan bibit kakao. Efektivitas JMA dalam mengkolonisasi akar tanaman ditentukan oleh jenis jamur mikoriza dan tanaman inang. Kolonisasi JMA pada akar tanaman ditentukan oleh kesesuaian jamur mikoriza dengan tanaman inang dalam mekanisme pertukaran nutrisi pada keduanya, kemampuan hidup mikoriza dan sensitivitas inang (Babbu & Reddy, 2011).

Bacillus sp. dan *Pseudomonas* sp. merupakan salah satu bakteri RPPT yang menunjang pertumbuhan dan ketahanan tanaman melalui kemampuannya menghasilkan pemacu pertumbuhan (hormon), pelarut fosfat sehingga dapat meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk P, menghasilkan antibiotik, siderofor yang berperan dalam menginduksi ketahanan tanaman terhadap penyakit (Widnyana & Javandira, 2016). Jamur mikoriza arbuskular dan rhizobakteri pemacu pertumbuhan tanaman saling berinteraksi selama proses kolonisasi akar. Mikroba tanah, khususnya RPPT mempengaruhi pembentukan dan fungsi JMA dan sebaliknya JMA mempengaruhi populasi RPPT di rizosfer. Pupuk hayati kombinasi JMA dan RPPT berpengaruh nyata terhadap semua parameter pertumbuhan bibit kakao dibandingkan kontrol. Ramirez *et al.* (2016) melaporkan adanya efek sinergis antara JMA dan RPPT *Pseudomonas* sp. yang berpengaruh terhadap pertumbuhan bibit dan kolonisasi akar kakao.

KESIMPULAN

Pemberian pupuk hayati berbasis jamur mikoriza arbuskular dan rhizobakteri pemacu pertumbuhan tanaman dengan interval aplikasi 2 minggu dan 1 bulan sekali dapat meningkatkan tinggi, diameter dan berat kering bibit kakao dari bulan ke-1 sampai ke-4. Ketergantungan bibit kakao pada jamur mikroza (MD) dan kolonisasi jamur mikoriza pada akar bibit kakao dikategorikan sedang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kementerian RistekDikti atas dana penelitian yang telah diberikan melalui kegiatan Insinas tahun 2018. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada saudara Nuriyanah, Liseu Nurjanah, bapak Adang, dan Eman atas bantuannya selama kegiatan penelitian berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

- Babbu, G. A., & Reddy, M. S. (2011). Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi associated with plants growing in fly ash pond and their potential role in ecological restoration. *Current Microbiol.*, 63, 273-280
- Balai Penelitian Tanah. (2009). Analisis kimia tanah, tanaman, air dan pupuk. Balai Besar Litbang Sumber Daya Lahan Pertanian. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Departemen Pertanian.
- Cruz, R. E., de la Zarade, J. F., Agganzae, N. S., & Lorilla, E. B. (1999). Differential mycorrhizal development of some agricultural, horticultural and forestry crops to inoculation of mycorrhizal fungi. In: D Jasper (Ed.). *Proceedings of the International Symposium on Management of Mycorrhizas on Agriculture, Horticulture and Forestry*. Australian Institute of Agricultural Sciences, Australia.
- Famuwagun, I. B., & Titilayo, O. (2016). Influence of varying rates of fertilizers on the performance of cacao (*Theobroma cacao* L.) seedlings in nursery. *Int. Lett. Nat. Scie.*, 58, 54-59
- Firmansyah, I., Syakir, M., & Lukman, L. (2017). Pengaruh kombinasi pupuk N, P dan K terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman terung (*Solanum melongena* L.). *J. Hort.*, 27(1), 69-78.
- Gianinazzi, S., Gollotte, A., Binet, M. N., van Tuinen, D., Redecker, D., & Wipf, D. (2010). Agroecology: the key role of arbuscular mycorrhizal in ecosystem services. *Mycorrhiza*, 20, 519-530.
- Laslo, E., Gyorgy, E., Mara, G., Tamas, E., Abraham, B., & Lanyi, S. (2010). Screening of plant growth promoting rhizobacteria as potential microbial inoculants. *Crop Prot.*, 40, 43-48.
- Nadeem, S. M., Ahmad, M., Zahir, Z. A., Javaid, A., & Ashraf, M. (2014). The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments. *Biotechnol. Adv.*, 32(2), 429-448.
- Nasaruddin. (2012). Respon pertumbuhan bibit kakao terhadap inokulasi Azotobacter dan mikoriza. *J. Agrivigor.*, 11(2), 310-311
- Otman, A., Jalil, A. M. M., Wang, K. K., Ismail, A., Ghani, N. A., & Adenan, I. (2010). Epicatechin content and antioxidant capacity of cocoa beans from four different countries. *Afr. J. Biotechnol.*, 9(7), 1052-1059
- Phillips, J. M., & Hayman, D. S. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuskular mycorrhizal fungi for rapid assesment of infection. *Transact Brit. Mycol. Soc.*, 55, 158-161
- Plenchette, C., Fortin, J. A., & Furlan, V. (1983). Growth responses of several plant species to mycorrhizae in a soil of moderate P-fertility. I. Mycorrhizal dependency under field conditions. *Plant Soil*, 70(2), 199-209.
- Radhakrishnan, R., Hashem, A., & Abd_Allah, A. F. (2017). *Bacillus*: a biological tool for crop improvement through bio-molecular changes in adverse environments. *Frontiers Physiol*, 8, 1-14
- Ramirez, J. G., Osorno, L., & Osorio, N. W. (2016). Presence of mycorrhizal fungi and fluorescent *Pseudomonas* sp. in the rhizosphere of cacao in two agroecosystems and their effects on cacao

- seedling growth. *Agron. Colomb*, 34(3), 385-392
- Rubiyo & Siswanto. (2012). Peningkatan produksi dan pengembangan kakao (*Theobroma cacao* L.) di Indonesia. *Bull. RISTRI*, 3(1), 33-48
- Ruiz-Lozano, J. M., Porcel, R., Azcon, C., & Aroca, R. (2012). Regulation by arbuscular mycorrhizae of the integrated physiological response to salinity in plants: new challenges in physiological and molecular studies. *J. Exp. Botany*, 63(11), 4033-4044
- Suparno, A., Prabawardani, S., Yahya, S., & Taroreh, N. A. (2015). Inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi increase the growth of cocoa and coffee seedling applied with ayamaru phosphate rock. *J. Agri. Scie*, 7(5), 199-210.
- Tawaraya, S. (2003). Arbuscular mycorrhizal dependency of different plant spesies dan cultivars. *Soil Scie. Plant Nutr.*, 49(5), 655-668.
- Wahyudi, T., Pangabean, T. R., & Pujiyanto. (2013). Panduan lengkap kakao: Manajemen agribisnis dari hulu hingga hilir. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Widnyana, I. K., & Javandira, C. (2016). Activities *Pseudomonas* sp. and *Bacillus* sp. to stimulate germination and seedling growth of tomato plants. *Agri. Agric. Scie. Proc*, 9, 419-423.