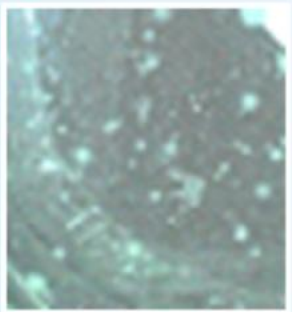
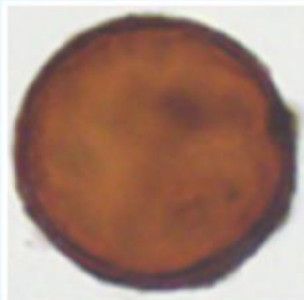


MONOGRAF  
**APLIKASI  
BIOFERTILIZER  
PADA KEDELAI  
TAHAN  
NAUNGAN**



**SUTARMAN**



**UMSIDA PRESS**

**Monograf**  
**APLIKASI BIOFERTILIZER**  
**PADA KEDELE**  
**TAHAN NAUNGAN**

**Oleh**  
**Sutarman**



**UMSIDA**

Diterbitkan oleh  
**UMSIDA PRESS**  
Jl. Mojopahit 666 B Sidoarjo

ISBN: 978-979-3401-92-8

Copyright©2017

**Sutarman**

All rights reserved

Hak cipta dilindungi undang-undang.  
Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian  
atau seluruh isi buku ini ke dalam bentuk apapun,  
secara elektronik, maupun mekanis, termasuk fotokopi,  
merekam, atau dengan teknik perekaman lainnya,  
tanpa izin tertulis dari penerbit.  
[Berdasarkan UU No. 19 Tahun 2000 tentang Hak Cipta  
Bab XII Ketentuan Pidana, Pasal 27, Ayat (1), (2), dan (6)]

**Monograf**

**APLIKASI BIOFERTILIZER  
PADA KEDELE  
TAHAN NAUNGAN**

Penyusun

**Sutarman**

Dosen Program Studi Agroteknologi

Fakultas Pertanian, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

Editor ahli

**Prof. Dr. Ir. Cholil Machfud, MS**

Editor

**Dyah Satiti**

Penerbit

**UMSIDA PRESS**

P3I Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

Kampus 1 Universitas Muhamamdiyah Sidoarjo

Jl. Mojopahit 666 B Sidoarjo, Jawa Timur, Indonesia

Telp. +62 31 8945444

Fax +62 31 8949333

<https://p3i.umsida.ac.id>

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas tersusunnya monograf dengan judul: “Aplikasi Biofertilizer pada Kedele Tahan Naungan” yang merupakan salah satu luaran penelitian sesuai kompetensi penyusun di bidang kesehatan dan penyakit tanaman serta mikrobiologi tanah pertanian.

Buku ini disusun berdasarkan hasil penelitian dan kajian literatur yang bersumber pada berbagai artikel jurnal Internasional relevan terkait.

Nilai kebaruan penelitian ini adalah pemanfaatan isolat nodul akar tumbuhan liar putri malu (*Mimosa pudica*) yang diintegrasikan dengan biofertilizer endomikoriza dan *Trichoderma* dari lantai hutan pada tanaman kedele tahan naungan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjawab tantangan pewujudan swasembada kedele dengan mengoptimalkan lahan hutan tanaman, perkebunan, dan sistem tumpangsari lahan kering lainnya yang belum pernah ditanami kedele sebelumnya dengan kondisi intensitas sinar matahari yang relatif sedang hingga rendah.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada: Rektor Universitas Muhammadiyah Sidoarjo (UMSIDA), Dekan, Ketua Program Studi Agroteknologi serta Kepala Laboratorium Agrokompleks Fakultas Pertanian UMSIDA atas dukungan moril dan fasilitas yang disediakan bagi kelancaran penelitian dan penyusunan buku ini.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat.

Sidoarjo, Juli 2017

Penyusun

# DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR .....	iv
DAFTAR ISI .....	v
DAFTAR TABEL .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	viii
DAFTAR LAMPIRAN .....	ix
I. PENDAHULUAN .....	1
II. AGENSIA BIOFERTILIZER .....	6
2.1 Biofertilisasi Bahan Organik .....	6
2.2 Trichoderma .....	9
2.3 Mikoriza .....	11
2.4 Bakteri Nodul Akar .....	13
III. TEKNOLOGI BIOFERTILIZER .....	16
IV. METODE PENELITIAN .....	19
4.1 Produksi Biofertilizer .....	19
4.1.1 Isolasi dan pengujian bakteri nodul akar ....	19
4.1.2 Formulasi biofertilizer <i>Trichoderma</i> .....	20
4.1.3 Isolasi dan formulasi biofertilizer Mikoriza	22
4.2 Aplikasi Biofertilizer .....	23
4.3 Variabel Pengamatan .....	25
4.3.1 Uji keragaan bakteri nodul akar .....	25
4.3.2 Uji aplikasi biofertilizer .....	25
4.4 Rancangan Perobaaan dan Analisis Statistika ....	26
4.4.1 Pengujian keragaan bakteri nodul akar .....	26
4.4.2 Aplikasi biofertilizer .....	27
V. HASIL DAN PEMBAHASAN .....	28
5.1 Keragaan Agen Biofertilizer .....	28
5.1.1 Pengujian isolat bakteri nodul akar .....	29
5.1.2 Formulasi biofertilizer <i>Trichoderma</i> .....	29
5.1.3 Isolasi dan formulasi biofertilizer Mikoriza	30

5.2 Uji Aplikasi Biofertilizer .....	31
5.2.1 Pertumbuhan vegetatif .....	31
5.2.2 Nodul akar dan intensitas infeksi mkoriza	34
5.2.3 Produksi tanaman .....	36
5.3 Pembahasan Umum .....	37
VI. KESIMPULAN DAN SARAN .....	45
5.1 Kesimpulan .....	45
5.2 Saran .....	46
DAFTAR PUSTAKA .....	47
LAMPIRAN .....	59

## DAFTAR TABEL

	Halaman
1. Hasil uji t atas keragaan dua isolat bakteri nodul akar pada 60 HST .....	29
2. Deskripsi morfologi spora fungi endomikoriza hasil penyaringan tanah Coban Talun .....	20
3. Rerata pengaruh naungan 60% dan aplikasi <i>biofertilizer</i> mikoriza terhadap diameter batang kedele 3 dan 5 minggu setelah tanam .....	32
4. Rerata pengaruh naungan 60% dan aplikasi <i>biofertilizer</i> mikoriza terhadap panjang tanaman kedele 3 dan 5 minggu setelah tanam .....	33
5. Rerata pengaruh naungan 60% dan aplikasi <i>biofertilizer</i> mikoriza terhadap jumlah daun tanaman kedele 3 dan 5 minggu setelah tanam .....	34
6. Rerata pengaruh naungan 60% dan aplikasi <i>biofertilizer</i> mikoriza terhadap bobot total nodul akar dan intesitas infeksi mikoriza per tanaman kedele saat panen .....	35
7. Rerata pengaruh naungan 60% dan aplikasi <i>biofertilizer</i> mikoriza terhadap jumlah polong, bobot total biji, dan bobot 100 biji per tanaman kedele .....	37

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
1. Model konseptual yang menunjukkan <i>cycle life</i> mikroagregat dan pembentukan mikroagregat .....	9
2. <i>Trichoderma harzianum</i> isolat Tc-Jjr-02 koleksi Laboratorium Mikrobiologi Fakultas Pertanian Universitas Muhamamadiyah Sidoarjo .....	21
3. Penampilan koloni bakteri nodul akar kedele dan koloni bakteri akar putri malu ( <i>M. pudica</i> ) .....	28
4. Spora endomikoriza hasil isolasi yaitu <i>Glomus coronatum</i> , <i>Glomus</i> sp. 1, dan <i>Glomus</i> sp. 2 .....	30
5. Kondisi akar kedele tanpa infeksi mikoriza dan bermikoriza .....	36



## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
1. Deskripsi kedelai varietas dena-1 .....	59
2. Analisis kimia dan fisik tanah media tanam .....	60

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

Kedele merupakan komoditas yang paling sulit untuk diwujudkan status keswasembadaannya jika dibandingkan dengan beras dan jagung. Produksi kedele Indonesia sampai tahun 2015 hanya 998.000 ton, sementara itu secara nasional kebutuhan kedele mencapai 2,54 juta ton (BPS, 2016). Di lain pihak luas panen kedele makin menurun dari waktu ke waktu. Pada tahun 1997 luas panen kedele mencapai 1.118.140 Ha, tetapi pada tahun 2015 menurun drastis menjadi 614.095 Ha. Penurunan juga terjadi pada semua wilayah sentra produksi kedele termasuk provinsi Jawa Timur yang mengalami penurunan luas panen dari 414.748 Ha (2015) menjadi 208.067 Ha (2010) (BPS. 2016).

Upaya menciptakan kemandirian pangan khususnya komoditas kedele tidak cukup dengan mengembangkan potensi intrinsik varietas-varietas kedelai yang ada serta teknologi pemupukan dan rekayasa kesuburan tanah, tetapi juga pengembangan luas area tanam. Pemanfaatan lahan kering merupakan alternatif paling strategis bagi swasembada kedele. Di Indonesia tersedia 144,47 juta hektar lahan kering yang tersebar di Kalimantan 4,61%, Sumatera 33,25%, Papua 28,6%, Sulawesi 16,57% , Jawa 10,7%, dan Maluku 7,45 (Yulida, 2016). Di lain pihak tersedia lahan yang belum

termanfaatkan yaitu tegal atau kebun yang kurang produktif 12,01 juta hektare dan lahan tidur 11,7 juta hektare. Namun untuk memanfaatkan lahan kering dimaksud akan ditemui berbagai kendala yang berat di antaranya adalah: (i) degradasi kesuburan tanahnya dan rendahnya kandungan C organik tanah (<2%) (Suriadikarta dan Simanungkalit, 2006); (ii) ancaman cekaman kekeringan saat terutama musim kemarau (Anonim, 2017); (iii) pH rendah (kemasaman tanah), kapasitas tukar kation rendah, dan kahat P (Atman, 2006); dan (iv) potensi gangguan penyakit tanaman (Sarjan dan Sab'i, 2014).

Sebagai bagian dari lahan kering yang secara teknis mendapat perlakuan agronomis, area perkebunan, hutan tanaman, tegalan, dan bentuk lahan kering lainnya yang sebagian besar periode siangnya tertutupi oleh tajuk tanaman, juga memiliki potensi untuk dimanfaatkan bagi pengembangan pertanian kedele. Salah satu bentuk aplikasinya adalah sebagai tumpang sari dalam sistem agroforestri.

Ada kelemahan dalam sistem tumpangsari yaitu akan dihasilkannya kondisi tumpang-tindih tajuk. Pada tumpangsari jagung dan kedele misalnya, dihasilkan naungan dengan intensitas sekitar 30-50% bagi tanaman kedele (Polthane dan Treloges, 2002). Terjadinya naungan terhadap

tanaman kedele juga akan dihasilkan pada tanaman perkebunan dan hutan tanaman.

Khusus pada lahan yang sering dinaungi tajuk ini, kendalanya adalah respons tanaman yang rendah terhadap naungan. Penelitian yang sudah dilakukan adalah pengembangan varietas kedele lokal yang tahan naungan hingga 50% (Balitbang Pertanian, 2016) dan 50-70% (Polthane, Promsaena, dan Laoken, 2011). Salah satu varietas yang memiliki spektrum pencahayaan yang luas adalah varietas Dena-1 yang memiliki kemampuan menjaga produksi optimal hingga naungan 50%. Di lain pihak naungan yang terbentuk dalam sistem agroforestri bisa melebihi 50%. Untuk itu perlu pengujian ketahanan varietas ini terhadap naungan hingga 60% suatu kondisi yang dijumpai pada lingkungan hutan/perkebunan sengon, pinus, dan berbagai tanaman hutan dan perkebunan terutama pada tanaman keras tingkat pancang.

Karakteristik lahan kering yang terlantar dan/atau belum dimanfaatkan relatif tidak sama dengan lahan yang biasa digunakan untuk budidaya. Hal yang menguntungkan adalah bahwa lahan tersebut relatif belum tercemar bahan kimia buatan (pestisida dan pupuk kimia). Di samping itu tanah pada lahan dimaksud selalu dijumpai tumbuhan liar dan berbagai jenis mikroba yang berpotensi sebagai simbiosis bagi

tumbuhan polong-polongan termasuk kedele. Salah satu tumbuhan liar dan masuk dalam keluarga polong-polongan pada lahan yang belum dimanfaatkan untuk penanaman kedele adalah putri malu (*Mimosa pudica*) yang pada akarnya dijumpai nodul akar. Belum banyak diketahui sejauhmana kesesuaian bakteri nodul akar yang berasal dari akar tumbuhan putri malu dengan tumbuhan kedele yang akan dibudidayakan.

Pemanfaatan fungi efektif bagi peningkatan kesuburan tanah dan dengan tujuan meningkatkan kesehatan dan ketahanan tanaman terhadap cekaman patogen dan cekaman lingkungan mulai banyak dikembangkan. Saat ini pemanfaatan *Trichoderma* sebagai agensia hayati pengendali penyakit dan sebagai agensia *biofertilizer* sudah mulai berkembang. Namun demikian bagaimana fungi ini dapat bersinergi dengan bakteri *Rhizobium* dan fungi mikoriza pada tanaman kedele di rhizosfer khusus lahan kering perlu diuji.

*Trichoderma* dan fungi endomikoriza memiliki habitus dan *niche* yang hampir sama. Propagul *Trichoderma* dan hifat eksternal fungi mikoriza berada di rhizosfer. Untuk itu perlu diuji sejauhmana interaksi dan perilaku saling mempengaruhi di anatra keduanya dan dalam rhizosfer serta efeknya terhadap pertumbuhan tanaman.

Penelitian ini bertujuan:

- (i) Untuk mengetahui kemampuan bakteri nodul akar dari tumbuhan putri malu (*M. pudica*) sebagai simbiosis efektif pada tanaman kedelai;
- (ii) Untuk mengetahui pengaruh naungan 60% terhadap pertumbuhan vegetatif dan produksi tanaman kedelai pada media yang diberi *biofertilizer Trichoderma* dan diinokulasi isolat bakteri nodul akar dari akar tumbuhan putri malu;
- (iii) Untuk mengetahui pengaruh *biofertilizer* endomikoriza *Glomus* sp. berpengaruh terhadap pertumbuhan vegetatif dan produksi tanaman kedelai pada media yang diberi *biofertilizer Trichoderma* dan diinokulasi isolat bakteri nodul akar dari akar tumbuhan putri malu;
- (iv) Untuk mengetahui pengaruh interaksi antara naungan 60% dengan aplikasi *biofertilizer* endomikoriza terhadap pertumbuhan vegetatif dan produksi tanaman kedelai pada media yang diberi *biofertilizer Trichoderma* dan diinokulasi isolat bakteri nodul akar dari akar tumbuhan putri malu.

## **BAB II**

### **AGENSIA BIOFERTILIZER**

#### **2.1 Biofertilisasi**

Di alam telah terjadi proses dekomposisi bahan organik sekaligus bersifat pemupukan atau penambahan/pemulihan nutrisi ke dalam tanah yang difasilitasi oleh aktivitas mikroba yang dibuktikan adanya proses respirasi. Heinemeyer *et al.* (2007) menunjukkan aktivitas respirasi dalam bentuk aliran CO<sub>2</sub> tanah yang ditanggung-jawabi oleh organisme heterotrof tanah (60%) dan hifa ektomikoriza (25%), serta akar 15 %. Fakta lain menunjukkan bahwa 25% respirasi akar barley ditanggung-jawabi oleh respirasi hifa mikoriza arbuskula yang berkontribusi sebesar 4,8 % total asimilasi karbon (Moyano *et al.*, 2007).

Fungi mikoriza *ericoid* sebagaimana tipe mikoriza yang lain berperan dalam pendegradasian bahan organik; hal itu karena fungi menghasilkan berbagai enzim yang dapat digunakan untuk mendegradasi dinding sel tanaman yang merupakan bahan organik (Read dan Perez-Moreno, 2003).

Karakteristik tanah ternyata sangat mempengaruhi kualitas simbiosis yang direpresentasikan oleh pertumbuhan panjang akar dan kelimpahan fungi mikoriza arbuskula (FMA) (Camenzind *et al.*, 2016). Di lain pihak status N

tanah terkait dengan biofertilisasi berbasis endomikoriza sangat dapat dipengaruhi kualitas lapisan organik di samping suhu dan kelembaban tanah yang merupakan representasi ketinggian tempat (Martinson *et al.*, 2013).

Aktivitas metabolisme dekomposer dalam proses dekomposisi bahan organik di dalam tanah akan menyumbangkan suatu dinamika perubahan laju respirasi dan aktivitas mikroba tanah yang berkontribusi terhadap *turn over* bahan organik tanah (Kuzyakov dan Larionova, 2005) yang diukur melalui tingkat respirasi rhizosfer. Terkait itu maka, ketersediaan bahan organik di dalam tanah menjadi sangat penting untuk konservasi mikroflora tanah, mengingat pula bahwa beberapa jenis mikroba memiliki tingkat respirasi yang lebih besar dari pada akar tanaman seperti dicontohkan oleh Neumann dan Matzner (2014) bahwa tingkat respirasi akar halus lebih rendah dari miselium fungi ektomikoriza. Respirasi karbon miselia fungi mikoriza arbuskula pada hutan tropis basah mencapai 1,4 ton/ha per tahun atau rata-rata  $14 \pm 6\%$  respirasi tanah dan  $26 \pm 12\%$  respirasi akar (Nottingham *et al.*, 2010).

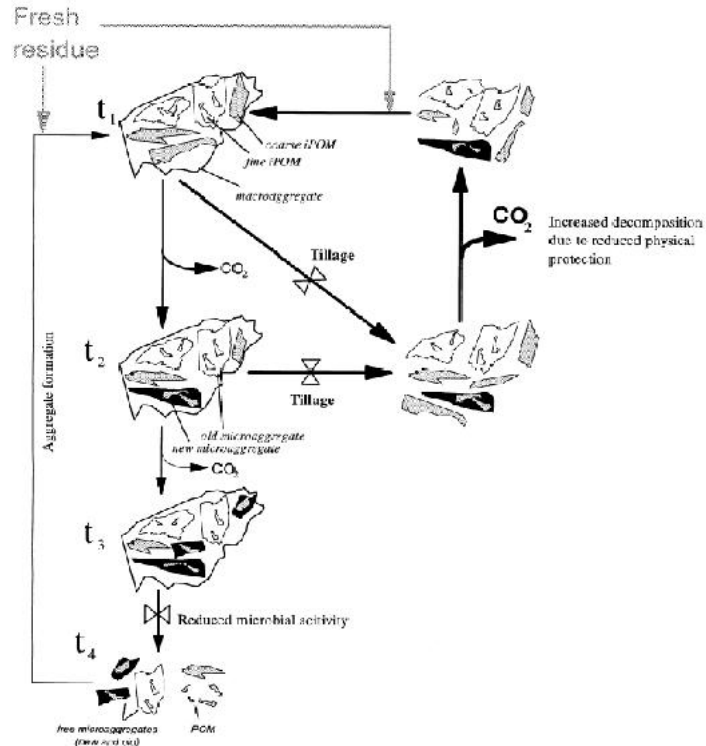
Biofertilisasi oleh mikroorganisme merupakan representasi hubungan antara *turn over* C-N tanah dan aktivitas enzim ekstraseluler seperti selulase (*exocellulase*



dan  $\beta$ -glukosidase) dan protease (Geisseler dan Horwath (2009).

Biofertilisasi bahan organik oleh fungi mikoriza ditandai adanya glomalin yaitu senyawa glikoprotein yang diproduksi hifa fungi mikoriza arbuskula; kandungan C dan N glomalin ternyata mencapai antara 4-5% C dan N tanah (Rillig *et al.*, 2001).

Mikroorganisme bukan hanya penyumbang nutrisi di dalam tanah, tapi juga berperan dalam siklus dan pembentukan makroagregat tanah seperti diilustrasikan pada Gambar 1 (Six *et al.*, 2004). Model konseptualnya dapat dijelaskan bahwa: bahan organik tanah dalam jangka panjang dilindungi oleh mikroagregat tanah dan stabilisasi bahan organik tanah ditanggung-jawabi oleh makroagregat tanah.



Gambar 1. Model konseptual yang menunjukkan *cycle life* mikroagregat dan pembentukan mikroagregat. IPOM = partikulat bahan organik intraagregat;. POM = partikulat bahan organik;. T waktu;  $\bowtie \rightarrow$  = Tingkat proses modifikasi) (Six *et al.*, 2000)

## 2.2 Trichoderma

Fungi genus *Trichoderma* ada di mana-mana di seluruh dunia serta mudah diisolasi dari tanah, kayu yang melapuk, dan berbagai bentuk bahan organik lainnya (Howell, 2003). Sejauh ini terdapat tidak kurang dari 89 spesies *Trichoderma* yang teridentifikasi dan banyak spesies *Hypocrea* sebagai

*anamorf Trichoderma*; keduanya *congeneric* (Samuels, 2006).

Dari 30 lokasi hutan pinus di Jawa Timur diperoleh 30 isolat *Trichoderma* unggulan dari masing-masing lokasi, dan mengacu pada kunci determinasi spesies *Trichoderma* (Gamas dan Bissett, 2002) diketahui bahwa salah satu di antaranya adalah *Trichoderma harzianum* yang berpotensi sebagai biopestisida sekaligus *biofertilizer* (Sutarman, 2016).

Keunggulan *Trichoderma* di bandingkan dengan berbagai spesies fungi menguntungkan lainnya adalah beberapa karakter keragaan pentingnya yaitu: (i) menjadi parasit bagi fungi patogen (mikoparasit), (ii) menjadi kompetitor kuat bagi mikroba tanah lainnya, dan (iii) menghasilkan senyawa pengatur tumbuh bagi tanaman seperti siderophores serta karbon dan nitrogen permeases (Benítez *et al.*, 2004; Verma *et al.*, 2007; Hu *et al.*, 2016), (iv) mendegradasi bahan organik menghasilkan nutrisi bagi tanaman (Buysens *et al.*, 2016), dan (v) menghasilkan berbagai senyawa yang dapat menghambat patogen seperti enzim hidrolitik, antibiotik, enzim kitinase dan  $\beta$ -1,3 glucanases (Harman, 2006); bahkan menghasilkan senyawa anti dorman bagi bakteri (Pruksakorna *et al.* ; 2010).

Khusus mengenai kemampuannya mengendalikan fungi patogen karena *Trichoderma* mensintesis berbagai senyawa

protein yang merupakan antibiotik dan enzim hidrolitik yang dapat mendegradasi dinding sel meliputi selulase, kitinase, dan glukonase (Vinale *et al.*, 2008; Al-Taweil *et al.*, 2009). Bahkan *T. harzianum* selain menginduksi level kadar hormon optimal dan pertumbuhan tanaman (Gravel *et al.*, 2007), juga dapat meningkatkan ketahanan terhadap patogen dengan cara menginduksi peningkatan aktivitas enzim peroksidase, polifenol oksidase dan superoksida dismutase pada tanaman tomat (Srivastava *et al.*, 2010; Chowdappa *et al.*, 2013) dan kentang (Youssef *et al.*, 2016).

Status *Trichoderma* sebagai endofit yang terdeposit di ruang antarsel jaringan akar ternyata dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap patogen akar (Yedidiaa *et al.*, 2000) serta menekan *Phytophthora palmivora* penyebab hawar daun bibit kakao secara *in vitro* (Nurudin dan Sutarman, 2014) dan *in vivo* (Sutarman, 2017). *Trichoderma* sp. Xy24 sebagai endofit pada daun, batang, dan kulit tanaman mangrove *Xylocarpus granatum* ternyata menghasilkan diterpenoid *harziane* yaitu (9R,10R)-dihydro-harzianone dan harzianelactone yang penting dalam ketahanan tanaman (Zhang *et al.*, 2016).

### **2.3 Mikoriza**

Secara umum para ahli mengklasifikasikan bentuk simbiosis antara fungi mikoriza ini dengan perakaran

tanaman tiga kelompok yaitu: (i) ektomikoriza dengan ciri hifa fungi menginfeksi sel dan berada di ruang antar sel dan hifa eksternal menyelubungi bagian luar akar membentuk struktur seperti mantel sel akar, (ii) endomikoriza atau mikoriza arbuskula, hifa menginfeksi bagian dalam sel akar, dan hifa eksternalnya menjuntai ke luar akar namun tidak masif seperti ektomikoriza, (iii) ericoid mikoriza yang memiliki karakteristik khas berasosiasi dengan tanaman anggrek (Paul dan Clark, 1995).

Menurut Wang dan Qiu (2006) setidaknya 80% spesies tanaman darat bersimbiosis dengan bermikoriza yang didominasi oleh jenis mikoriza arbuskular.

Fungi mikoriza arbuskula berperan penting dalam memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan nutrisi tanaman pada padang rumput (van der Heijden *et al.*, 2006).

Pada lahan kering Fungi mikoriza arbuskula mampu mendifusikan ion  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ , dan  $\text{PO}_4^{3-}$  masing-masing sebesar  $10^{-6}$ ,  $10^{-7}$ , dan  $10^{-8}$   $\text{cm}^2 \text{det}^{-1}$  yang tidak mungkin dapat diperoleh oleh tanaman tanpa mikoriza (Paul & Clark, 1995). Sementara itu Cavallazzi *et al.* (2007) menunjukkan efektivitas *Glomus etunicatum* dan *S. pelusida* dalam mempromosikan pertumbuhan tanaman melalui suplai hara secara signifikan berbagai unsur-unsur penting seperti P, Zn, Cu, Ca, S, Na, N, K, Fe dan Al ke dalam jaringan tanaman.

(Tomè *et al.*, 2015) menunjukkan adanya korelasi positif antara tingkat fotosintesis tanaman dan kapasitas penyerapan hifa, di mana 23% N-anorganik yang diserap dipertahankan di miselium fungi.

#### **2.4. Bakteri Nodul Akar**

Banyak spesies dan strain bakteri nodul akar pada berbagai tanaman polong-polongan, di antaranya adalah yang biasa bersimbiosis dengan akar kedele yaitu dari genus *Rhizobium* dan *Bradyrhizobium* (Paul dan Clark, 1996). Seperti halnya fungi *Trichoderma* dan endomikoriza, bakteri nodul akar berperan dalam meningkatkan kesuburan tanah, menghasilkan hormon tumbuhan (Altieri dan Nicholls, 2005). Bakteri nodul akar berperan penting dalam siklus N di alam yaitu dalam bentuk fiksasi nitrogen dari udara dan mengubahnya menjadi bentuk yang diperlukan bagi tanaman dan (Foyer dan Noctor, 2004). Simbiosis mutualistik di dalam tanah yang ditunjukkan oleh bakteri *Rhizobium* dengan tanaman kedelai (*Glycine max* L. Merr.) merupakan bagian dalam peranannya mendaur hara nitrogen (Sullivan, 2003).

Bakteri *Rhizobium* sesungguhnya adalah organisme heterotrof yang sumber energinya berasal dari oksidasi senyawa-senyawa organik seperti sukrose dan glucose yang dalam sistem simbiosis diperoleh dari tanaman inangnya (Foyer dan Noctor, 2004; Werner dan Newton, 2005; Dakora

et al., 2008; Lichtfouse, 2010). Kelimpahan substrat yang dikeluarkan tanaman dalam bentuk berbagai metabolit, hormon, dan enzim-enzim perombak senyawa organik sangat diperlukan bagi berbagai mikroba tanah di daerah rizosfer (Singh *et al.*, 2008). Di antara banyak ragam senyawa ekstraselular yang dihasilkan tanaman di rhosfer, di antaranya merupakan senyawa yang bersifat sebagai sinyal atau *inducer* yang dikenal bakteri dan jenis-jenis senyawa tersebut akan menentukan kecocokan dengan bakteri pasangan simbiosis tanaman (Werner dan Newton, 2005; Singh *et al.*, 2008).

Nitrogen menjadi salah satu sentral bagi Berbagai kasus kekurangan N pada tanaman legum meskipun kandungan N dalam ruang udara tanah sangat tinggi yaitu dibandingkan gas yang lain yaitu sekitar 80% namun dalam kondisi tidak dapat dimanfaatkan langsung oleh tanaman (Dakora *et al.*, 2008) kecuali melalui kinerja simbiosisnya yaitu bakteri nodul akar.

Mengingat ketergantungan kebutuhan N tanaman polong-polongan 50% dari tanah (Paul dan Clark, 1996), maka sumbangan N lewat simbiosisnya sangatlah penting. Untuk itu penelitian pemanfaatan bakteri nodul akar sebagai *biofertilizer* telah lama dilakukan para ahli dan sudah terbukti manfaat aplikasi *biofertilizer* bakteri nodul akar dalam

memperbaiki kesuburan tanah, meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman, serta menekan pertumbuhan patogen (Altieri dan Nicholls, 2005; Purwaningsih, 2005), bahkan dapat meningkatkan produksi kedele sebesar 25-30% di lahan masam Sumatera (Noortasiah, 2005).



### **BAB III**

## **TEKNOLOGI BIOFERTILIZER**

Pengembangan pemanfaatan mikroba sebagai bahan aktif *biofertilizer* tidak lepas dari riset dasar yang meliputi isolasi, uji keragaan secara *in vitro*, dan uji aplikasi memerlukan media buatan. *Potato dextrose agar* (PDA) yang dimodifikasi atau dengan penambahan *rose bengal* dan *chloramphenicol* atau *streptomycin* pada pH 6 sering digunakan untuk menumbuhkan isolat-islat *Trichoderma* (Vargas Gil *et al.*, 2009) dan dapat disimpan pada suhu -80°C (Saravanakumar *et al.*, 2016).

Untuk fungi endomikoriza yang bersifat obligat tidak dapat ditumbuhkan pada media buatan, tetapi biasanya tumbuh pada perakaran inang tertentu misalnya tanaman jagung, yang pemeriksaan kelimpahan populasinya ditentukan melalui proses penyaringan bertingkat setidaknya dengan saringan 250-µm dan kemudian saringan 50-µm (García-González *et al.*, 2016). Teknologi aplikasi mikoriza semakin berkembang sejalan berkembangnya metode pengujian efektivitas yang melibatkan pemanfaatan teknologi kultur *in vitro* di mana perkembangan infeksi fungi mikoriza arbuskula pada akar planlet dapat diamati langsung (Voets *et al.*, 2015).

Pemanfaatan *Trichoderma* saat ini bukan saja sebagai biofungisida terhadap patogen akar yang berarti menghemat penggunaan bahan kimia fungisida tetapi juga sebagai *biofertilizer* yang dapat meningkatkan performa, kesehatan, dan produksi tanaman (Glare *et al.*, 2012.)

Pemanfaatan *Trichoderma* sebagai agen *biofertilizer* dan agen biokontrol yang terformulasi dalam bahan organik (pupuk organik) menjadi prospek yang menjanjikan dalam strategi budidaya tanaman. Hal ini ditunjukkan oleh Hu *et al.* (2016) yang menerapkan strategi pengendalian *Sclerotinia sclerotiorum* dengan memanfaatkan *Trichoderma* sp. Tri-1 yang diformulasi dengan bungkil biji tanaman Kanola (*Brasica juncea*) dan jerami pada budidaya tanaman kanola (*oilseed rape*). Integrasi kedua peran dalam satu jenis agensia hayati ini mampu menghilangkan ancaman kehilangan hasil 10-80% tanaman kanola sekaligus mengurangi secara signifikan penggunaan fungisida (Ma *et al.*, 2009; Guan, 2011). Menurut Alguacil *et al.* (2014) penambahan jerami gandum dapat meningkatkan keanekaragaman fungi mikoriza arbuskula di samping meningkatkan aktivitas biologis tanah.

*Trichoderma* bisa diaplikasikan sebagai *seed treatment* untuk mengendalikan penyakit *damping off*. Dubey *et al.* (2007) menunjukkan kesuksesan aplikasi *T. harzianum* ( $10^6$  spora/ml/10 g biji) yang dikombinasikan dengan *carboxin* (2

g per 1 kg biji) menurunkan kejadian penyakit *damping off* 42,6-72,9% dan meningkatkan 12,0-14,0% perkecambahan biji tanaman buncis. Sementara itu kombinasi *T. viride* dan *Pseudomonas fluorescens* yang diaplikasikan pada benih kapas untuk melindungi serangan patogen *damping off* *Rhizoctonia solani* dan *Macrophomina phaseolina*, ternyata mampu meningkatkan persentase perkecambahan benih serta meningkatkan pemanjangan akar dan tunas, bobot barangkasan, serta indeks vigor tanaman kapas (Shanmugaiyah *et al.*, 2009).

Aplikasi campuran fungi mikoriza arbuskula (*Glomus mosseae*, *G. intraradices*, *G. clarum*, *Gigaspora gigantean*, dan *G. margarita*) dalam bentuk suspensi spora pada berbagai tanaman mampu meningkatkan pertumbuhan dan menginduksi ketahanan tanaman terhadap penyakit busuk akar *Fusarium* (Al Askar dan Rashad, 2010).

## **BAB IV**

### **METODE PENELITIAN**

Seluruh kegiatan penelitian produksi biofertilizer yang dimulai sejak isolasi bakteri bintil akar dan fungi mikoriza dari lapang hingga di laboratorium mikrobiologi serta uji aplikasi di rumah kaca Universitas Muhammadiyah Sidoarjo berlangsung pada Juni 2016-Mei 2017.

#### **4.1 Produksi *Biofertilizer***

##### **4.1.1 Isolasi dan pengujian bakteri nodul akar**

Nodul akar tumbuhan putri malu (*M. pudica*) dilepas dari akar dan dicuci dengan air bersih, kemudian disterilkan secara permukaan dengan merendamnya dalam larutan alkohol 50 % selama 30 detik, kemudian dibilas dalam air destilat steril sebanyak 3 kali. Setelah ditiriskan di atas kertas saring steril, sebanyak 1 gram nodul ditekan hingga hancur untuk kemudian ditempatkan di dalam air destilat volume 20 ml. Campuran diaduk rata dan diambil sebanyak 5 ml untuk diencerkan dengan menambahkan air destilat hingga mencapai volume 100 ml. Cairan yang mengandung tanah tersebut diambil sebanyak 1 ml dengan menggunakan siringe dan disemprotkan ke permukaan media PDA di cawan petri. Kegiatan tersebut dilakukan dalam kondisi aseptik di dalam *laminar flow cabinet*. Di lain pihak dengan cara yang sama

diperlakukan pada nodul akar kedele varietas lokal Dena-1 (deskripsi pada Lampiran 1). Koloni yang muncul di permukaan media, dicuplik dan ditumbuhkan pada media yang baru, sehingga dihasilkan sediaan isolat bagi keperluan pengujian. Setelah 5 hari, isolat bakteri nodul akar di cawan petri digunakan sebagai sumber inokulum dalam *seed treatment* bagi pengujian kemampuan isolat tersebut bersimbiosis dengan akar tanaman kedele.

Sebanyak 50 gram kedele yang sudah disterilkan permukaannya dalam larutan alkohol 50% selama 30 detik dicampurkan atau dilumuri isolat masing-masing dari nodul akar putri malu dan dari nodul akar kedele varietas Dena-1. Benih yang sudah terlumuri propagul isolat bakteri nodul akar tersebut ditanam dalam media tanam. Selanjutnya diamati bentuk dan ukuran nodulnya untuk melihat ada tidaknya kesesuaian inang yang ditunjukkan dengan respon pertumbuhan tanaman serta morfologi dan biomassa nodul yang terbentuk.

#### **4.1.2 Formulasi *biofertilizer Trichoderma***

Fungi *Trichoderma* potensial yang dimanfaatkan sebagai pupuk hayati (*biofertilizer*) adalah isolat Tc-Jjr-02 (Gambar 2) yang merupakan salah satu dari 30 isolat *Trichoderma* isolat koleksi Laboratorium Mikrobiologi Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.



Gambar 2. *Trichoderma harzianum* isolat Tc-Jjr-02 koleksi Laboratorium Mikrobiologi Fakultas Pertanian Universitas Muhamamdiyah Sidoarjo.

Tahap pertama dilakukan perbanyakan isolat dengan cara menempatkan cuplikan biakan berdiameter 5 mm pada media PDA-m (Vargas Gil, Pastorb, dan Marcha, 2009), kemudian diinkubasi selama 1 minggu. Biakan yang diperoleh diformulasi dalam kompos steril yang komposisi nutrisinya tertera pada Lampiran 1. Tiap satu cawan biakan dapat dicampur dengan 5 kg kompos. Selanjutnya campuran tersebut diinkubasi selama dua minggu sehingga dapat berstatus sebagai *biofertilizer* yang akan digunakan untuk tahap percobaan selanjutnya. Pada akhir periode inkubasi tersebut dihitung populasi isolat per gramnya.

#### **4.1.3 Isolasi dan formulasi *biofertilizer* mikoriza**

Isolasi terhadap endomikoriza dilakukan terhadap tanah dari Pujon dengan pertimbangan bahwa di lokasi tersebut berpotensi dikembangkan tanaman kedele sebagai komoditas pertanian dalam sistem agroforestri. Namun demikian isolat endomikriza yang ditemukan nantinya perlu diuji-coba kemampuannya dalam pada daerah dengan ketinggian 300-600 m dpl lahan kering yang belum dimanfaatkan di mana biasa ditemukan tumbuhan putri malu (*M. pudica*).

Isolasi endomikoriza dilakukan dengan mengambil spora dari dalam tanah dengan modifikasi beberapa cara (Garcia-Gonzales *et al.*, 2016), yaitu meliputi: (i) mencampur 2 g sampel tanah ke dalam air suling dan mengaduknya selama 30 detik, kemudian dituangkan dalam saringan bertingkat 250  $\mu\text{m}$  dan 50  $\mu\text{m}$  dengan terus dialiri air, (ii) menuangkan partikel yang tertahan di saringan 50  $\mu\text{m}$  ke dalam gelas kimia dan diberi larutan sukrosa dan diaduk secara merata, (iii) suspensi dimasukkan ke dalam vial dan kemudian di sentrifugasi dengan kecepatan 1000 rpm selama 5 menit, menuang cairan dan endapannya yang mengandung spora endomikoriza. Langkah selanjutnya adalah spora diamati di bawah mikroskop binokuler dengan perbesaran 100 kali dan mendeterminasi jenis endomikoriza.

Untuk keperluan memperbanyak propagul mikoriza, maka dikecambahkan benih jagung pada baki perkecambahan yang medianya steril. Benih jagung yang berkecambah dan mulai muncul akar segera dipindahkan ke polibag kapasitas 5 kg yang tanahnya steril. Bersamaan dengan itu dituangkan cairan mengandung spora endomikoriza sebanyak sekitar 50 spora dalam 50 cc air steril sehingga spora endomikoriza terdeposit di permukaan tanah sekitar akar kecambah jagung. Selanjutnya dilakukan pemeliharaan meliputi penyiraman dengan air steril dan pemberian pupuk dasar NPK (5 gr per polibag) hingga tanaman jagung berumur 6 minggu. Selanjutnya Tanaman jagung dibongkar dan semua tanah berikut akar tanaman diambil dan dihancur-ratakan. Campuran ini dapat digunakan sebagai *biofertilizer* mikoriza. Selanjutnya dilakukan pengamatan jumlah spora per gram formula.

#### **4.2 Aplikasi *Biofertilizer***

Percobaan ini bertujuan untuk mengetahui respons tanaman kedele, yang akarnya bersimbiosis dengan bakteri nodul akar yang berasal dari akar putri malu, yang ditumbuhkan pada media tanaman yang mengandung *Trichoderma* isolat Tc-Jjr-02 (yang diformulasi sebagai kompos *biofertilizer*) terhadap: (i) aktivitas fungi mikoriza, (ii) naungan, dan (iii) aktivitas fungi mikoriza dan naungan.



Dalam percobaan ini digunakan dua faktor yaitu: (i) aplikasi *biofertilizer* mikoriza, terdiri atas: tanpa mikoriza dan dengan mikoriza, dan (ii) naungan terdiri atas: tanpa naungan dan dengan naungan 60%.

*Biofertilizer* fungi mikoriza yang sudah disiapkan dari kegiatan formulasi (4.1) digunakan untuk percobaan ini. Untuk naungan digunakan paranet yang mampu menghalau intensitas sinar sebesar 60 % atau sebanyak 40% dapat melewati paranet mencapai tanaman di bawahnya.

Benih kedele varietas Dena-1 disterilkan permukaannya dengan merendamnya beberapa saat ke dalam larutan alkohol 50% dan dibilasi dengan air destilat steril sebanyak tiga kali. Setelah ditiriskan, benih kedele dicampur dengan pupuk hayati bakteri nodul akar yang diformulasi dalam bentuk suspensi agar-agar cair hingga merata. Benih kedele yang sudah membawa propagul bakteri nodul akar ditempatkan di atas lubang tanam (kedalaman 2 cm dan diamatere 5 cm) di dalam polibag yang sudah dialasi *biofertilizer* endomikoriza dengan total populasi rata-rata 50 spora dalam formulasi padatan curah yang terkonsentrasi di dasar lubang tanam. Untuk yang tidak menggunakan fungi endomikoriza, maka lubang tanam hanya dialasi kompos steril yang bahannya sama dengan kompos yang di dalamnya terformulasi spora endomikoriza. Adapun analisis kimia tanah yang digunakan

sebagai media tanam dalam percobaan tertera pada Lampiran 2. Selanjutnya polibag baik yang diberi *biofertilizer* endomikoriza maupun yang tidak diberi endomikoriza ditempatkan pada dua kondisi yaitu di bawah naungan paranet 60% dan tanpa naungan paranet.

Semua polibag berisi tanaman kedele percobaan dipelihara hingga tanaman panen dengan cara: penyiraman tiap hari pada sore hari pukul 17.00 yang diarahkan ke media tanam dalam polibag dengan air destilat hingga basah merata. Tiap tanaman dijaga bebas dari gangguan organisme hama dan penyakit tanpa mengandalkan bahan kimia pestisida.

### **4.3 Variabel Pengamatan**

#### **4.3.1 Uji keragaan bakteri nodul akar**

Untuk pengujian keragaan bakteri nodul akar, variabel yang diukur adalah bobot total nodul akar pada umur 60 hari setelah tanam.

#### **4.3.2 Uji aplikasi *biofertilizer***

Variabel yang diamati dalam percobaan uji aplikasi *biofertilizer* ini adalah sebagai berikut:

- (i) Pertumbuhan vegetatif tanaman, yang diamati adalah panjang tanaman (cm) mulai dari pangkal batang (sekitar 0,5 cm di atas permukaan tanah polibag) hingga ujung tajuk, jumlah daun yang

sudah terbuka, dan diameter batang dengan cara mengukur garis tengah batang (mm) pada ketinggian 2 cm di atas permukaan tanah polibag;

- (ii) Produksi tanaman, yang diamati adalah jumlah polong per tanaman serta bobot total biji per tanaman (gr) dan bobot 100 butir biji yang ditimbang setelah dilakukan proses pengeringan biji;
- (iii) Bobot nodul akar, yaitu dengan menimbang seluruh nodul akar segar per tanaman;
- (iv) Intensitas infeksi mikoriza yang dilakukan setelah pembongkaran tanaman saat panen.

#### **4.4 Rancangan Perobaan dan Analisis Statistika**

##### **4.4.1 Pengujian keragaan bakteri nodul akar**

Dalam pengujian keragaan bakteri nodul akar ini, diperbandingkan kemampuan isolat bakteri nodul akar yang diperoleh dari akar tumbuhan putri malu (*M. pudica*) dengan bakteri nodul akar yang diperoleh dari akar kedele varietas Dena-1. Perlakuan terdiri atas isolat nodul akar putri malu (R1) dan isolat nodul akar kedele (R2). Masing-masing isolat yang sudah diinokulasikan ke permukaan biji dan dipindahkan ke polibag setelah benih berkecambah. Masing-masing isolat ditumbuhkan pada delapan polibag. Data yang sudah teruji kenormalannya, dianalisis uji hipotesis t-test pada taraf uji 5% dengan menggunakan *Microsoft Excel*

dengan asumsi kedua sampel tersebut memiliki *variance* yang sama.

#### **4.4.2 Aplikasi *biofertilizer***

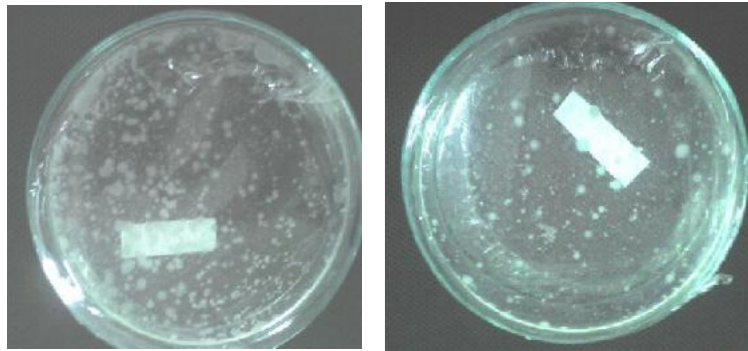
Perlakuan dalam percobaan ini disusun menggunakan rancangan split-plot yang disusun dalam rancangan acak kelompok. Petak utama adalah naungan dalam bentuk paranet 60% terdiri atas: tanpa naungan (N0) dan naungan 60% (N1). Sebagai anak petak adalah pemberian *biofertilizer* mikoriza, terdiri atas: tanpa mikoriza (M0) dan dengan mikoriza (M1). Dari empat kombinasi perlakuan tersebut, percobaan diulang sebanyak 4 kali, sehingga diperoleh 16 satuan percobaan. Semua data dianalisis dengan Analisis Sidik Ragam pada taraf uji 5% untuk mengetahui adanya perbedaan pengaruh perlakuan yang dapat dilihat signifikansinya pada F hitung. Pada variabel dengan F hitung yang menunjukkan signifikansinya pada taraf uji 5%, maka dilakukan uji beda nyata jujur (BNJ) pada taraf uji 5% untuk mengetahui perbedaan antarperlakuan.

## BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

### 5.1 Keragaan Agen *Biofertilizer*

#### 5.1.1 Pengujian isolat bakteri nodul akar

Isolat yang diperoleh dari tumbuhan putri malu dan yang dari tanaman kedele secara fisik penampakan koloninya yang tumbuh dari suspensi hancuran nodul akar pada pengenceran  $10^5$  (Gambar 3). Rerata total populasi bakteri nodul akar putri malu  $2,56 \times 10^7$  cfu/ml, sedangkan bakteri nodul akar kedele  $3,4 \times 10^7$  cfu/ml.



Gambar 3. Penampilan koloni bakteri nodul akar kedele (kiri) dan koloni bakteri akar putri malu (*M. pudica*)

Hasil uji hipotesis t-test (Tabel 1) dengan asumsi varians kedua sampel sama menunjukkan bahwa hipotesis diterima bahwa keragaan kedua isolat bakteri nodul akar tersebut sama. Seperti ditunjukkan pada Tabel 1 bahwa  $t_{hitung} > t_{tabel}$  dan  $p = 0,209$ , di mana rata-rata bobot nodul total per

tanaman adalah 1,36 gr untuk putri malu dan 1,67 untuk kedele.

Tabel 1. Hasil uji t atas keragaan dua isolat bakteri nodul akar pada 60 HST

	Nodul akar kedele	Nodul akar putri malu
<i>Mean</i>	1,671875	1,355
<i>Variance</i>	0,414356696	0,741828571
<i>Observations</i>	8	8
<i>Pooled Variance</i>	0,578092634	
<i>Hypothesized Mean Difference</i>	0	
Df	14	
t Stat	0,833526198	
P(T<=t) <i>one-tail</i>	0,209271236	
t <i>Critical one-tail</i>	1,761310115	
P(T<=t) <i>two-tail</i>	0,418542471	
t <i>Critical two-tail</i>	2,144786681	

Berdasarkan keragaan yang ditunjukkan dalam bobot nodul akar tersebut, maka isolat bakteri nodul akar yang diperoleh dari akar putri malu layak untuk digunakan dalam uji aplikasi *biofertilizer*.

### 5.1.2 Formulasi *biofertilizer Trichoderma*

Isolat *T. harzianum* yang digunakan sebagai agensia *biofertilizer* terformulasi dalam kompos yang sudah diinkubasi selama 2 minggu. Kompos yang digunakan sebagai *carrier biofertilizer* ini mengandung C-organik 53,43%, rasio C/N 19,35, dan pH 6,9. Setelah dilakukan

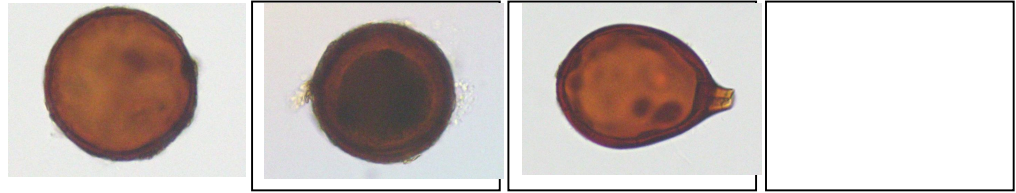
penghitungan populasi dengan metode pengenceran, diketahui bahwa total populasi rata-rata *Trichoderma* dalam formula *biofertilizer* adalah  $1,75 \times 10^7$  cfu/g. Dosis *biofertilizer* per polibag kapasitas 5 kg adalah 100 gr, sehingga rata-rata populasi *Trichoderma* pada saat awal penanaman adalah  $3,5 \times 10^5$  cfu/g tanah media tanam.

### 5.1.3 Isolasi dan formulasi *biofertilizer* Mikoriza

Hasil isolasi dari tanah agroforestri Coban Talun, Malang, yang akan digunakan sebagai lahan bagi pengembangan kedele diperoleh tiga macam fungi endomikoriza dengan deskripsi seperti tertera pada Tabel 2 dan morfologi spora tertera pada Gambar 4.

Tabel 2. Deskripsi morfologi spora fungi endomikoriza hasil penyaringan tanah Coban Talun.

No.	Deskripsi morfologi spora	Jenis	Populasi (spora/100 g tanah)
1	- Bentuk spora bulat lonjong - Warna : coklat - Spora berukuran 149,15 $\mu\text{m}$ - Dinding sel berlapis 2 dengan ketebalan 3,4 $\mu\text{m}$	<i>Glomus coronatum</i>	67
2	- Bentuk spora bulat lonjong - Warna : coklat tua - Spora berukuran 141,22 $\mu\text{m}$ - Dinding sebanyak 2 lapis yang tebalnya 3,1 $\mu\text{m}$	<i>Glomus</i> sp. 1	49
3	- Bentuk spora bulat lonjong - Warna : coklat - Spora berukuran 132,12 $\mu\text{m}$ - Dinding sel berlapis 2 dengan ketebalan 3,2 $\mu\text{m}$	<i>Glomus</i> sp. 2	32



Gambar 4. Spora endomikoriza hasil isolasi yaitu *Glomus coronatum*, *Glomus* sp. 1, dan *Glomus* sp. 2.

Untuk selanjutnya jenis yang digunakan adalah *Glomus coronatum* untuk uji aplikasi *biofertilizer*. Setelah dilakukan perbanyakan pada tanaman jagung lokal, diperoleh populasi rata-rata 68 spora per gram tanah. Selanjutnya digunakan sebagai *biofertilizer* endomikoriza yang diaplikasikan pada tanaman kedele dalam percobaan ini.

## 5.2 Uji Aplikasi *Biofertilizer*

### 5.2.1 Pertumbuhan vegetatif

Hasil analisis ragam menunjukkan naungan 60% berpengaruh nyata terhadap diameter batang pada 5 MST (F hitung 55,13 > F tabel 10,13). Sementara itu aplikasi *biofertilizer* berpengaruh nyata terhadap diameter batang 3 dan 5 MST (masing-masing F hitung 10,69 dan 11,89 > F tabel 5,99). Rerata pengaruh naungan 60 % dan aplikasi *biofertilizer* mikoriza terhadap diameter batang dapat dilihat pada Tabel 3.



Tabel 3. Rerata pengaruh naungan 60% dan aplikasi *biofertilizer* mikoriza terhadap diameter batang kedele 3 dan 5 minggu setelah tanam (MST) (cm)

Perlakuan	Rerata diameter batang (cm) <sup>*)</sup>	
	3 MST	5 MST
Petak utama:		
Tanpa naungan (N0)	0,16	0,42 a
Naungan 60% (N1)	0,17	0,38 b
BNT 5%	-	0,03
Anak petak:		
Tanpa Mikoriza (M0)	0,15 a	0,38 a
Dengan Mikoriza (M1)	0,18 b	0,42 b
BNT 5%	0,03	0,03

<sup>\*)</sup> Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama masing-masing pada petak utama dan anak petak menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNT 5%.

Hasil analisis ragam menunjukkan naungan 60% berpengaruh nyata terhadap panjang tanaman kedele pada 3 dan 5 MST (masing-masing F hitung 53,89 > F tabel 10,13). Sementara itu aplikasi *biofertilizer* berpengaruh nyata terhadap panjang tanaman 3 dan 5 MST (masing-masing F hitung 24,15 dan 19,02 > F tabel 5,99). Rerata pengaruh naungan 60 % dan aplikasi *biofertilizer* mikoriza terhadap panjang tanaman kedele dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Rerata pengaruh naungan 60% dan aplikasi *biofertilizer* mikoriza terhadap panjang tanaman kedele 3 dan 5 minggu setelah tanam (MST) (cm)

Perlakuan	Panjang tanaman (cm) <sup>*)</sup>	
	3 MST	5 MST
Petak utama:		
Tanpa naungan (N0)	14,10	30,76 a
Naungan 60% (N1)	15,46	56,29 b
BNT 5%	-	5,74
Anak petak:		
Tanpa Mikoriza (M0)	13,58 a	40,33 a
Dengan Mikoriza (M1)	15,98 b	46,73 b
BNT 5%	0,62	5,74

<sup>\*)</sup> Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama masing-masing pada petak utama dan anak petak menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNT 5%.

Hasil analisis ragam menunjukkan naungan 60% berpengaruh nyata terhadap jumlah daun tanaman kedele pada 5 MST ( $F_{hitung} 45,84 > F_{tabel} 10,13$ ). Sementara itu aplikasi *biofertilizer* berpengaruh nyata terhadap jumlah daun tanaman pada 3 dan 5 MST (masing-masing  $F_{hitung} 19,36$  dan  $29,92 > F_{tabel} 5,99$ ). Rerata pengaruh naungan 60 % dan aplikasi *biofertilizer* mikoriza terhadap jumlah daun tanaman kedele dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Rerata pengaruh naungan 60% dan aplikasi *biofertilizer* mikoriza terhadap jumlah daun tanaman kedele 3 dan 5 minggu setelah tanam (MST) (cm)

Perlakuan	Jumlah daun <sup>*)</sup>	
	3 MST	5 MST
Petak utama:		
Tanpa naungan (N0)	11,56	18,91 a
Naungan 60% (N1)	12,44	27,78 b
BNT 5%		3,49
Anak petak:		
Tanpa Mikoriza (M0)	11,38 a	20,58 a
Dengan Mikoriza (M1)	12,63 b	26,10 b
BNT 5%	0,62	3,49

<sup>\*)</sup> Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama masing-masing pada petak utama dan anak petak menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNT 5%.

### 5.2.2 Nodul akar dan intensitas infeksi mikoriza

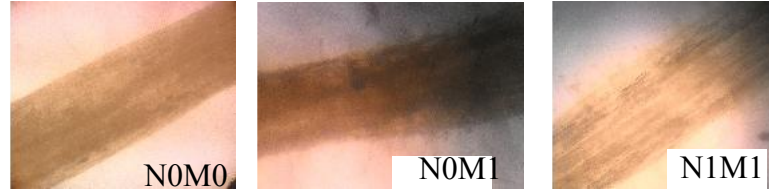
Hasil analisis ragam menunjuk kan bahwa naungan 60% berpengaruh nyata terhadap bobot total nodul akar per tanaman (F hitung 122,64 > F tabel 10,13), namun tidak berpengaruh nyata terhadap intensitas infeksi mikoriza. Di lain pihak aplikasi *biofertilizer* mikoriza tidak berpengaruh nyata terhadap bobot total nodul akar pertanaman, tapi berpengaruh nyata terhadap intensitas infeksi mikoriza pada akar kedele (F hitung 149,14 > F tabel 5,99). Rerata bobot total nodul akar dan intensitas infeksi mikoriza disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Rerata pengaruh naungan 60% dan aplikasi *biofertilizer* mikoriza terhadap bobot total nodul akar dan intensitas infeksi mikoriza per tanaman kedele saat panen (11 MST)

Perlakuan	Bobot total nodul akar (gr)	Intensitas infeksi mikoriza (%)
Petak utama:		
Tanpa naungan (N0)	4,04 a	16,88
Naungan 60% (N1)	2,67 b	18,50
BNT 5%	0,56	-
Anak petak:		
Tanpa Mikoriza (M0)	3,33	0,00 a
Dengan Mikoriza (M1)	3,69	35,38 b
BNT 5%	-	11,74

\*) Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama masing-masing pada petak utama dan anak petak menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNT 5%.

Intensitas infeksi mikoriza pada akar tanaman kedele diperlihatkan pada perlakuan tanpa naungan-bermikoriza serta (N0M1) dengan naungan-bermikoriza (N1M1) seperti tertera pada Gambar 5. Pada perlakuan tanpa naungan dan tanpa mikoriza (N0M0) tampak bahwa permukaan akar mulus tidak ada tonjolan, sedangkan pada perlakuan bermikoriza tampak tonjolan-tonjolan yang merupakan kumpulan hifa yang memasuki sel-sel dan ruang antar-sel akar.



Gambar 5. Kondisi akar kedele tanpa infeksi mikoriza (NOM0) dan bermikoriza (NOM1 dan NiM1)

### 5.2.3 Produksi tanaman

Naungan 60% dan aplikasi *biofertilizer* mikoriza masing-masing tidak berpengaruh nyata terhadap jumlah polong, bobot total panen, dan bobot 100 biji per tanaman kedele. Interaksi antara naungan 60% dan aplikasi mikoriza juga tidak berpengaruh nyata terhadap seluruh variabel pengamatan produksi tanaman.

Jumlah polong, bobot total biji, dan bobot 100 biji rata-rata per tanaman diperlihatkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Rerata pengaruh naungan 60% dan aplikasi *biofertilizer* mikoriza terhadap jumlah polong, bobot total biji, dan bobot 100 biji per tanaman kedele.

Perlakuan	Jumlah polong	Bobot total biji (gr)	Bobot 100 biji (gr)
Petak utama:			
Tanpa naungan (N0)	88,63	11,08	10,94
Naungan 60% (N1)	73,25	9,16	11,21
Anak petak:			
Tanpa Mikoriza (M0)	75,00	10,31	10,78
Dengan Mikoriza (M1)	86,88	10,68	11,37

### 5.3 Pembahasan Umum

Isolat bakteri nodul akar yang berasal dari tumbuhan putri malu (*M. pudica*) memiliki keragaan yang sama pada akar tanaman kedele dibandingkan dengan isolat bakteri nodul akar yang diperoleh dari akar kedele yang sama. Isolat ini dianggap mewakili simbion efektif nodul akar tanaman kedele ketika dibudidayakan pada lahan kering yang sebelumnya relatif tidak dijumpai atau dibudidayakan tanaman kedele. Pada lahan kering kosong selalu dijumpai tumbuhan liar *M. pudica* yang memiliki kekerabatan dengan kedele.

Jika dilihat pada Tabel 3 dan 4 khususnya pada pengaruh naungan tampak bahwa tanaman yang ditumbuhkan di bawah naungan 60% memiliki rerata diameter 0,38 cm

lebih kecil dibandingkan tanaman tanaman naungan yaitu 0,42 cm pada 5 MST. Di lain pihak tanaman di bawah naungan memiliki panjang tanaman jauh lebih tinggi dibandingkan tanaman tanpa naungan yaitu 56,29 cm dibandingkan 30,76 cm pada 5 MST. Sementara itu jumlah daun tanaman di bawah naungan rata-rata 27,78 helai jauh lebih tinggi dibandingkan dengan jumlah daun tanpa naungan yaitu 18,91 pada 5 MST (Tabel 5). Sejalan dengan hasil penelitian ini, Polthane *dkk.* (2011) menunjukkan bahwa tinggi tanaman kedele di bawah naungan 50 dan 70% lebih tinggi dibandingkan tanpa naungan. Pada polong-polongan jenis lain yaitu kacang merah, tanaman yang diberi naungan 50% memiliki rata-rata tinggi tanaman lebih besar dibandingkan kontrol (Komariah, Waloeoyo, dan Hidayat, 2017).

Naungan juga berpengaruh terhadap jumlah daun (Tabel 5). Menurut Naidu dan Swamu (1993) intensitas cahaya yang rendah akan meningkatkan luas daun. Pada penelitian ini rata-rata jumlah daun pada 5 MST lebih tinggi pada perlakuan dengan naungan dibandingkan tanpa naungan.

Naungan menentukan intensitas cahaya matahari menerpa tajuk kedele dan suhu rata-rata di bawah naungan yang sudah tentu akan mempengaruhi laju pergerakan air melalui evapotranspirasi yang difasilitasi di antaranya

melalui stomata (Penka, 1992). Dengan asumsi kadar air tanah normal (bukan dalam kondisi cekaman kekeringan), maka ada adaptasi selular di antaranya dalam pemanjangan sel dan komponen yang bertanggung-jawab terhadap transportasi air dan nutrisi termasuk dimensi stomata (Kumekawa *et al.*, 2013; Sikarwar *et al.*, 2014) yang direpresentasikan oleh pemanjangan tanaman dan total luas daun dan jumlah daun yang lebih tinggi. Di lain pihak kombinasi tingkat cahaya rendah dan konsentrasi CO<sub>2</sub> tinggi dapat meningkatkan pemanfaatan cahaya fotosintetik (Wurth *et al.*, 1998; DeLucia dan Thomas, 2000) dan meningkatkan efisiensi penggunaan cahaya dalam fotosintesis (Tomimatsu dan Tang, 2012). Fotosintesis dapat ditingkatkan oleh peningkatan konsentrasi CO<sub>2</sub> pada spesies toleran naungan (Naumburg dan Ellsworth, 2000) termasuk kedele varietas lokal yang digunakan dalam penelitian ini. Meskipun tidak dilakukan pengukuran konsentrasi CO<sub>2</sub> di sekitar tajuk, tapi kondisi di sekitar tanaman akan menyerupai kondisi pada umumnya di daerah tropis pada lantai hutan dengan konsentrasi CO<sub>2</sub> yang selalu tinggi (Tang *et al.*, 2003). Konsentrasi CO<sub>2</sub> yang tinggi dapat meningkatkan pengambilan karbon melalui peningkatan efisiensi fotosintesis di bawah kondisi cahaya yang dinamis (Holisova *et al.*, 2012; Tomimatsu dan Tang, 2012). Bahkan



dengan konsentrasi CO<sub>2</sub> yang tinggi berpotensi meningkatkan laju fotosintesis relatif pada kondisi *light flecks* (di bawah paranet intensitas rendah-menengah) dibandingkan pada kondisi *steady state* (kontrol) (Leakey *et al.*, 2005).

Secara keseluruhan naungan tidak berpengaruh terhadap variabel produksi tanaman yaitu jumlah polong, bobot 100 butir (Tabel 7). Ini agak berbeda dengan pernyataan Hayder (2003) dan Kakiuchi dan Kubota (2004) bahwa naungan berpengaruh pada penurunan produksi bahan kering dan jumlah polong total per tanaman, dan bobot total. Menurut Panhwar *et al.* (2004) naungan berdampak pada pertumbuhan tanaman kedele yang melemah. Namun demikian hasil penelitian ini menunjukkan bahwa rata-rata masing-masing variabel produksi tersebut sedikit lebih tinggi pada perlakuan tanpa naungan.

Naungan tidak berpengaruh terhadap perbedaan perilaku fungi mikoriza dalam aktivitas infeksi akar, namun berpengaruh terhadap rata-rata bobot total nodul akar (Tabel 6).

Aplikasi *biofertilizer* mikoriza berpengaruh nyata terhadap peningkatan pertumbuhan vegetatif tanaman. Hal ini ditunjukkan oleh rata-rata diameter batang (Tabel 3), panjang tanaman (Tabel 4), dan jumlah daun yang lebih tinggi (Tabel 5) pada perlakuan yang diberi *biofertilizer*

mikoriza dibandingkan tanpa mikoriza. Adanya perbedaan pengaruh naungan 60% dan mikoriza terhadap variabel pertumbuhan vegetatif ternyata tidak sejalan bobot nodul akar dan produksi tanaman. Hal ini menunjukkan bahwa ukuran sel yang lebih tinggi dimensinya pada perlakuan pemberian naungan dibandingkan tanpa naungan tapi menunjukkan bobot yang tidak berbeda. Pada banyak hasil riset menunjukkan bahwa fungi endomikoriza membantu menyediakan nutrisi sehingga mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman dan produksi tanaman (Rillig *et al.*, 2001; Gianinazzi *et al.*, 2010; Richardson *et al.*, 2011; Legaya *et al.*, 2016).

Intensitas infeksi mikoriza pada tanaman yang diberi *biofertilizer* endomikoriza rata-rata sebesar 35,38 % relatif lebih kecil dibandingkan dengan intensitas infeksi fungi mikoriza tanaman kebele lokal lainnya pada berbagai hasil penelitian terdahulu di antaranya yaitu mencapai 33,51-42,73 (Muis, Indradewa, dan Widada, 2013), 44,44-70,20% (Sitanggang, Rahmawati, dan Hanum, 2014), dan 43,33% (Putra, Syafruddin, dan Jumini, 2016). Hal ini diduga bahwa tanaman sudah mendapat dukungan nutrisi dari fungi *Trichoderma* yang diberikan dalam bentuk *biofertilizer* *Trichoderma* yang terformulasi dalam bentuk kompos. Terdapat persinggungan habitus di antara kedua jenis fungi

ini yang memungkinkan adanya persaingan dalam memanfaatkan rhizosfer. Hifa eksternal fungi mikoriza dalam kondisi normal dapat mencapai jarak yang jauh melampaui capaian penyebaran akar (Read dan Perez-Moreno, 2003; Smith dan Smith, 2011). Oleh karenanya dalam kondisi demikian fungi mikoriza berperan membantu tanaman dalam menyuplai air dan nutrisi dari sumbernya yang tidak dapat dicapai akar tanaman.

Dugaan adanya persaingan ruang itu bisa dibuktikan dengan minimnya hifa eksternal fungi mikoriza yang menyembul dari dalam akar tanaman seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Tampak bahwa sembulan hifa dari dalam akar relatif sangat sedikit, sehingga tidak tampak perbedaan yang nyata dengan akar tanaman kedele tanpa mikoriza. Karakteristik *Trichoderma* yang menghasilkan enzim kitinase (Vinale *et al.*, 2008) yang dapat mendegradasi kitin yang merupakan molekul kerangka sel fungi. *T. viridae* dan *T. pseudokoningii* mendegradasi sklerotia *Sclerotium cepivorm* (Clarkson *et al.*, 2004). Hilangnya struktur hifa eksternal di luar sel-sel akar juga diduga merupakan mekanisme internal fungi dalam meningkatkan efisiensi respirasi, mengingat respirasi hifa di luar akar lebih tinggi dari pada di dalam sel bahkan lebih tinggi dari laju respirasi akar

halus (Nottingham *et al.*, 2010; Neumann dan Matzner, 2014).

Kecilnya intensitas infeksi mikoriza, selain adanya persaingan ruang, di duga tanaman tidak mengandalkan suplai nutrisi dari hifa fungi mikoriza maupun disediakan oleh fungi mikoriza melalui mekanisme dekomposisi (Talbot *et al.*, 2008). *T. harzianum* membantu tanaman dalam hal menyediakan nutrisi hasil dekomposisi bahan organik (Cheng, Johnson, dan Fu, 2003; Howel, 2003; Dayana Amira *et al.*, 2012; Buysens *et al.*, 2016;), menghasilkan senyawa ekstraselular yang berperan sebagai zat pengatur tumbuh bagi tanaman (Gravel *et al.*, 2007; Chowdappa *et al.*, 2013; Yousef *et al.*, 2016), di samping memberi kenyamanan tanaman karena bersifat sebagai mikoparasit melindungi dari patogen (Harman, 2006; Verma *et al.*, 2007) serta dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap cekaman patogen dan cekaman lingkungan (Harman *et al.*, 2004; Vargas, Pastorb, dan Marcha, 2009; Srivastava *et al.*, 2010).

Secara keseluruhan eksistensi bakteri nodul akar, *Trichoderma*, dan endomikoriza telah meningkatkan kualitas rhizosfer. Cheng *et al.*, (2003) menunjukkan efek *rhizosfer priming* atau kondisi awal rhizosfer tanaman kedele, di mana peningkatan laju dekomposisi bahan organik tanah 383%

lebih tinggi dibandingkan kontrol (tanpa tanaman); sementara itu pemupukan NPK tidak secara signifikan mengubah efek *priming* rizosfer atau laju dekomposisi bahan organik. Memperkuat pendapat itu, Talbot *et al.* (2008) menduga bahwa endomikoriza menghasilkan enzim litik ekstraseluler yang berperan menghasilkan efek *priming* rizosfer yaitu fungsi mikoriza menguraikan C tanah ketika alokasi fotosintat tanaman ke akar bermikoriza tinggi, sehingga pertumbuhan tanaman dan aktivitas fungsi mikoriza menjadi prima.

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Isolat bakteri nodul akar dari tumbuhan putri malu (*Mimosa pudica*) memiliki keragaan yang sama dengan isolat bakteri nodul akar yang berasal dari tanaman kedele dan layak digunakan sebagai *biofertilizer* untuk penanaman baru pada lahan kering kedele.

Naungan 60% berpengaruh terhadap pertumbuhan vegetatif tanaman, jumlah nodul akar, namun tidak berpengaruh terhadap intensitas infeksi mikoriza, jumlah polong, bobot total biji, dan bobot 100 biji kedele varietas Dena-1.

*Biofertilizer* endomikoriza *Glomus* berpengaruh terhadap pertumbuhan vegetatif dan intensitas infeksi mikoriza namun tidak berpengaruh terhadap bobot total bintil akar, jumlah polong, bobot total biji, dan bobot 100 biji tanaman kedele.

Tidak terdapat pengaruh interaksi antara naungan 60% dengan aplikasi *biofertilizer* endomikoriza terhadap pertumbuhan dan produksi kedele varietas Dena-1.

## 5.2 Saran

Mengingat luasnya lahan kering di Indonesia, maka pengembangan penanaman kedele varietas tahan naungan perlu dilakukan pada berbagai sistem agroforestri, sistem huma dan perladangan, dan hutan rakyat yang berpotensi dioptimalkan pemanfaatannya.

Perlu diujicobakan pemanfaatan *biofertilizer Trichoderma* dan mikoriza yang terformulasi dalam bahan organik dalam penanaman kedele tahan naungan di dalam berbagai sistem agroforestri, sistem huma dan perladangan, dan hutan rakyat ketika musim kemarau untuk mengetahui kemampuan agensia *biofertilizer* dalam mengendalikan dan meningkatkan efisiensi penggunaan air oleh tanaman kedele.

## REFERENCES

- AlAskar AA & Rashad YM. 2010. Arbuscular mycorrhizal fungi: a biocontrol agent against common bean *Fusarium* root rot disease. *Plant Pathol. J.* 9, 31–38.
- Alguacil MM, Torrecillas E, García-Orenes F & Roldán A. 2014. Changes in the composition and diversity of AMF communities mediated by management practices in a Mediterranean soil are related with increases in soil biological activity. *Soil Biol. Biochem.* 76, 34–44.
- Al-Taweil HI, Osman MB, Aidil AH & Wan-Yussof WM. 2009. Optimizing of *Trichoderma viride* cultivation in submerged state fermentation. *Am. J. Appl. Sci.* 6, 1277–1281.
- Altieri MA & Nicholis C.I. 2005. Agroecology and the Search for a Truly Sustainable Agriculture. Mexico. United Nations Environments Programme.
- Anonim. 2017. Jokowi: Pemanfaatan 36,8 Juta Hektare Lahan Pertanian Belum Maksimal. <http://katadata.co.id/berita/2016/12/07/jokowi-pemanfaatan-368-juta-hektare-lahan-pertanian-belum-maksimal>. Diakses 22 April 2017.
- Atman. 2006. Pengelolaan Tanaman Kedelai di Lahan Kering Masam. *Jurnal Tambua*, 5 (3): 281-287.
- Badan Pusat Statistik (BPS). 2016. “Luas Panen Kedelai Menurut Provinsi (ha), 1993-2015”, <https://www.bps.go.id/linkTableDinamis/view/id/870>. Diakses 1 May 2017.
- Balitbang Pertanian. 2016. Varietas Dena 1. Badan penelitian dan pengembangan pertanian. Kementerian pertanian. <http://new.litbang.pertanian.go.id/varietas/1092/>. diakses 09 april 2017.



- Benítez T, Rincón AM, Limón MC & Codon A. 2004. Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains. *Int. Microbiol.* 7 (4), 249–260.
- Buysens C, César V, Ferrais F, De Boulois HD & Declerck S. 2016. Inoculation of *Medicago sativa* cover crop with *Rhizophagus irregularis* and *Trichoderma harzianum* increases the yield of subsequently-grown potato under low nutrient conditions. *Applied Soil Ecology* 105,137–143.
- Camenzind T, Homeier J, Dietrich K, Hempel S, Hertel D, Krohn A, Leuschner C, Oelmann Y, Olsson PA, Suarez JP & Rillig MC. 2016. Opposing effects of nitrogen versus phosphorus additions on mycorrhizal fungal abundance along an elevational gradient in tropical montane forests. *Soil Biology & Biochemistry* 94, 37-47.
- Cavallazzi JRP, Filho OK, Stürmer SL, Rygiewicz PT & de Mendonça MM. 2007. Screening and selecting arbuscular mycorrhizal fungi for inoculating micropropagated apple rootstocks in acid soils. *Plant Cell Tissue Organ Cult.* 90, 117–129. doi:<http://dx.doi.org/10.1007/s11240-006-9163-6>.
- Cheng W, Johnson DW & Fu S. 2003. Rhizosphere effects on decomposition. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67, 1418–1427. doi:<http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2003.1418>.
- Chowdappa P, Kumar SPM, Lakshmi MJ & Upreti KK. 2013. Growth stimulation and induction of systemic resistance in tomato against early and late blight by *Bacillus subtilis* OTPB1 or *Trichoderma harzianum* OTPB3. *Biol. Control* 65, 109–117.
- Clarkson JP, Mead A, Payne T & Whipps JM. 2004. Effect of environmental factors and *Sclerotium cepivorum* isolate on sclerotial degradation and biological control

of white rot by *Trichoderma*. *Plant Pathol.* 53, 353–362.

Dakora FD, Chimpango SBM, Valentine AJ, Elmerich C & Newton WE. 2008. Biological Nitrogen Fixation: Towards Poverty Alleviation through Sustainable Agriculture. Netherland.

Dayana Amira R, Roshanida AR, Rosli MI, Zahrah SFMF, Anuar MJ & Adha NCM. 2012. Bioconversion of empty fruit bunch (EFB) and palm oil mill effluent (POME) into compost using *Trichoderma virens*. *African Journal of Biotechnology* 10, 18775-18780.

DeLucia EH & Thomas RB. 2000. Photosynthetic responses to CO<sub>2</sub> enrichment of four hardwood species in a forest understorey. *Oecologia* 122, 11-19.

Dubey SC, Suresha M & Singha B. 2007. Evaluation of *Trichoderma* species against *Fusarium oxysporum* f. sp. ciceris for integrated management of chickpea wilt. *Biol. Control* 40, 118–127.

Foyer CH & Noctor G. 2004. Photosynthetic nitrogen assimilation and associated carbon and respiratory metabolism. Kluwer Academic Publisher. London.

Gams W & Bissett J. 2002. Morphology and identification of *Trichoderma*. In: CP Kubicek & GE Harman (Eds.). *Trichoderma and Gliocladium, Volume 1: Basic biology, taxonomy and genetics*. pp. 3-34. Taylor & Francis Ltd. London.

García-González I, Quemada M, Gabriel JL & Hontoria C. 2016. Arbuscular mycorrhizal fungal activity responses to winter cover crops in a sunflower and maize cropping system. *Applied Soil Ecology* 102, 10–18.

- Geisseler D & Horwath WR. 2009. Relationship between carbon and nitrogen availability and extracellular enzyme activities in soil. *Pedobiologia* 53, 87–98.
- Gianinazzi S, Gollotte A, Binet MN, van Tuinen D, Redecker D & Wipf D. 2010. Agroecology: the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services. *Mycorrhiza* 20, 519–530.
- Glare T, Caradus J, Gelernter W, Jackson T, Keyhani N, Kohl J, Marrone P, Morin L & Stewart A. 2012. Have biopesticides come of age? *Trends Biotechnol.* 30, 250–258.
- Gravel V, Antoun H & Tweddell RJ. 2007. Growth stimulation and fruit yield improvement of greenhouse tomato plants by inoculation with *Pseudomonas putida* or *Trichoderma atroviride*: possible role of indole acetic acid (IAA). *Soil Biol. Biochem.* 39, 1968–1977.
- Harman GE, Howell CR, Viterbo A, Chet I & Lorito M. 2004. *Trichoderma* species – opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nat. Rev. Microbiol.* 2, 43–56.
- Harman GE. 2006. Overview of mechanisms and uses of *Trichoderma* spp. *Phytopathology* 96, 190–194.
- Hayder G, Mumraz SS, Khan A, & Khan S. 2003. Maize and soybean intercropping under various levels of soybean seed rates. *Asian Journal of Plant Sciences* 2, 339–341. doi:10.3923/ajps.2003.339.341.
- Heinemeyer A, Hartley IP, Evans SP, Carreira De La Fuente JA & Ineson P. 2007. Forest soil CO<sub>2</sub> flux: uncovering the contribution and environmental responses of ectomycorrhizas. *Glob. Change Biol.* 13, 1786–1797. doi:<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01383.x>.
- Holisova P, Zitova M, Klem K & Urban O. 2012. Effect of elevated carbondioxide concentration on carbon

- assimilation under fluctuating light. *J Environ Qual.* 41, 1931-1938.
- Howell CR. 2003. Mechanisms employed by *Trichoderma* species in the biological control of plant diseases: the history and evolution of current concepts. *Plant Dis.* 87, 4–10.
- Hu X, Roberts DP, Xie L, Yu C, Li Y, Qin L, Hu L, Zhang Y & Liao X. 2016. Use of formulated *Trichoderma* sp. Tri-1 in combination with reduced rates of chemical pesticide for control of *Sclerotinia sclerotiorum* on oilseed rape. *Crop Protection* 79, 124-127.
- Kakiuchi J & Kobata T. 2004. Shading and thinning effects on seed and shoot dry matter increase in determinate soybean during the seed-filling period. *Agronomy Journal*, 96, 398-405 doi:10.2134/agronj2004.0398
- Komariah A, Waloejo EC, & Hidayat O. 2017. Pengaruh penggunaan naungan terhadap pertumbuhan dan hasil dua varietas tanaman kacang merah (*Phaseolus vulgaris* L.). *Paspalum* 5 (1): 33-41.
- Kumekawa Y, Miyata H, Ohga K, Hayakawa H, Yokoyama J, Ito K, Tebayashi S, Arakawa R, & Fukuda T. 2013. Comparative analyses of stomatal size and density among ecotypes of *Aster hispidus* (Asteraceae). *American Journal of Plant Sciences* 4, 524-527.
- Kuzyakov Y & Larionova AA. 2005. Root and rhizomicrobial respiration: a review of approaches to estimate respiration by autotrophic and heterotrophic organisms in soil. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 168, 503–520. doi:http://dx.doi.org/10.1002/jpln.200421703.
- Leakey ADB, Scholes JD, & Press MC. 2005. Physiological and ecological significance of sunflecks for dipterocarp seedlings". *J Exp Bot.* 56, 469-482.

- Legaya N, Grassein F, Binet MN, Arnoldi C, Personeni E, Perigon S, Polyd F, Pommier T, Puissant J, Clément JC, Lavorel S & Mouhamadou B. 2016. Plant species identities and fertilization influence on arbuscular mycorrhizal fungal colonisation and soil bacterial activities. *Applied Soil Ecology* 98, 132–139.
- Lichtfouse, E. 2010. Sustainable Agriculture Reviews 3. Sociology, Organic Farming, Climate Change, and Soil Science. Netherlands. Springer.
- Ma HX, Feng XJ, Chen Y, Chen CJ & Zhou M. 2009. Occurrence and characterization of dimethachlon insensitivity in *Sclerotinia sclerotiorum* in Jinagsu Province of China. *Plant Dis.* 93, 36-42.
- Martinson GO, Corre MD & Veldkamp E. 2013. Responses of nitrous oxide fluxes and soil nitrogen cycling to nutrient additions in montane forests along an elevation gradient in southern Ecuador. *Biogeochemistry* 112, 625-636.
- Moyano F, Kutsch W & Schulze E. 2007. Response of mycorrhizal, rhizosphere and soil basal respiration to temperature and photosynthesis in a barley field. *Soil Biol. Biochem.* 39, 843–853. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.10.001>.
- Muis A, Indradewa D & Widada J. 2013. Pengaruh inokulasi mikoriza arbuskula terhadap pertumbuhan dan hasil kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) pada berbagai interval penyiraman. *Vegetalika* 2 (2): 7-20.
- Naidu CV & Swamu PM. 1993. Effect of shade on growth, biomass production and associated physiological parameters in *Pongamia Pinnata* (Linn.) Pierre. *Indian Journal of Plant Physiology* 37, 212-214.
- Naumburg E & Ellsworth DS, 2000, Photosynthesis sunfleck utilization potential of understory saplings growing

- under elevated CO<sub>2</sub> in FACE. *Oecologia*. 122, 163-174.
- Neumann J & Matzner E. 2014. Contribution of newly grown extramatricalectomycorrhizal mycelium and fine roots to soil respiration in a young Norway spruce site. *Plant Soil* 378, 73–82. doi:<http://dx.doi.org/10.1007/s11104-013-2018-0>.
- Noortasiah, 2005. Pemanfaatan Bakteri Rhizobium pada tanaman kedelai di lahan lebak. *Buletin Teknik Pertanian*, 10 (2): 57-60.
- Nottingham AT, Turner BL, Winter K, van der Heijden MGA & Tanner EVJ. 2010. Arbuscular mycorrhizal mycelial respiration in a moist tropical forest. *New Phytol.* 186, 957–967. doi:<http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03226.x>.
- Nurudin MJ & Sutarman. 2014. Potensi *Trichoderma* sp sebagai pengendali *Phytophthora palmivora* penyebab hawar daun bibit kakao. *J Nabatia* 11 (1): 21-28.
- Panhwar MA, Mempo FH, Kalhoro MA, & Somro MI. 2004. Performance of maize in intercropping system with soybean under different planting patterns and nitrogen levels. *Journal of Applied Science* 4, 201-204. doi:[10.3923/jas.2004.201.204](https://doi.org/10.3923/jas.2004.201.204).
- Paul EA & Clarck FE. 1996. *Soil microbiology and biochemistry* 2nd ed. Academic Press. San Diego.
- Penka M. 2012. Stomatal and cuticular transpiration. In: Sebanek (ed.). *Plant physiology*, pp. 55-64. Elsevier, Amsterdam.
- Polthanee A, Promsaena K, & Laoken A. 2011. Influence of low light intensity on growth and yield of four soybean cultivars during wet and dry seasons of Northeast

Thailand. *Agricultural Sciences* 2 (2): 61-67.  
doi:10.4236/as.2011.22010.

- Polthane A & Treloges V. 2002. Growth and yield of mungbean cultivars in mungbean-corn relay intercropping systems. *Journal of International Society for Southeast Asian Agricultural Sciences* 8, 1-14.
- Pruksakorna P, Araia M, Kotokua N, Vilchère C, Baughn AD, Moodley P, Jacobs WR Jr. & Kobayashia M. 2010. Trichoderins, novel aminolipopeptides from a marine sponge-derived *Trichoderma* sp., are active against dormant mycobacteria. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters* 20 (12): 3658–3663
- Purwaningsih, S. 2005. Rhizobium dari tanah kebun biologi Wamena. *Biodiversitas*. 6(2): 82-84.
- Putra RR, Syafruddin & Jumini. 2016. Produksi dan mutu benih beberapa varietas kedelai lokal aceh (*Glycine max* (L.) Merr.) dengan pemberian dosis mikoriza yang berbeda pada tanah entisol. *Jurnal Kawista* 1 (1) : 37-44.
- Read D & Perez-Moreno J. 2003. Mycorrhizas and nutrient cycling in ecosystems - a journey towards relevance? *New Phytologist* 157, 475-492.
- Richardson A, Lynch J, Ryan P, Delhaize E, Smith FA, Smith SE, Harvey P, Ryan M, Venklaas E, Lambers H, Oberson A, Culvenor R & Simpson R. 2011. Plant and microbial strategies to improve the phosphorus efficiency of agriculture. *Plant and Soil* 349, 121-156.
- Rillig MC, Wright SF, Nichols KA, Schmidt WF & Torn MS. 2001. Large contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest soils. *Plant Soil* 233, 167–177.
- Samuels GJ. 2006. *Trichoderma*: Systematics, the Sexual State, and Ecology. *Phytopathology* 96 (2): 195-206.

- Saravanakumar K, Yu C, Dou K, Wang M, Li Y & Chen J. 2016. Synergistic effect of *Trichoderma*-derived antifungal metabolites and cell wall degrading enzymes on enhanced biocontrol of *Fusarium oxysporum* f. sp. cucumerinum. *Biological Control* 94 (2016) 37–46.
- Sarjan M & Sab'i. 2014. Karakteristik Polong Kedelai Varitas Unggul yang Terserang Hama Pengisap Polong (*Riptortus linearis*) pada Kondisi Cekaman Kekeringan. *Jurnal Lahan Suboptimal* 3 (2): 168-180
- Shanmugaiah V, Balasubramanian N, Gomathinayagam S, Monoharan PT & Rajendran A. 2009. Effect of single application of *Trichoderma viride* and *Pseudomonas fluorescences* on growth promotion in cotton plants. *Afr. J. Agric. Res.* 4, 1220–1225.
- Sikarwar R, Rajawat BS, & Sharma KR. 2014. Studies on relationship between stomatal density and oleoresin yield in chirpine (*Pinus roxburghii* Sargent). *International Journal of Advanced Research* 2, 751-758.
- Singh B, Kaur R & Singh K. 2008. Characterization of *Rhizobium* strain isolated from the roots of *Trigonella foenumgraecum* (fenugreek). *African Journal of Biotechnology.* 7 (20): 3671- 3676.
- Sitanggang RM, Rahmawati N & Hanum C. 2014. Pertumbuhan kedelai melalui aplikasi asam askorbat dan inokulasi fungi mikoriza arbuskular pada lahan salin dengan tingkat salinitas yang berbeda. *Jurnal Online Agroekoteknologi* 2 (4): 1589 – 1595.
- Six J, Elliott ET & Paustian K. 2000. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biol. Biochem.* 32, 2099–2103.



- Smith SE & Smith FA. 2011. Roles of arbuscular mycorrhizas in plant nutrition and growth: new paradigms from cellular to ecosystem scales. *Annual Review of Plant Biology* 62, 227-250.
- Srivastava R, Khalid A, Singh US & Sharma AK. 2010. Evaluation of arbuscular mycorrhizal fungus, fluorescent *Pseudomonas* and *Trichoderma harzianum* formulation against *Fusarium oxysporum* f. sp. lycopersici for the management of tomato wilt. *Biological Control* 55, 24-31.
- Sullivan, P. 2003. Applying the Principles of Sustainable Farming. Fundamental of Sustainable Agriculture. ATTRA.
- Suriadikarta DA & Simanungkalit RDM. 2006. Pendahuluan, dalam Simanungkalit RDM, Suriadikarta DA, Saraswati R, Setyorini D & Hartatik W (eds.). *Pupuk organik dan pupuk hayati*. Hlm. 1-10. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Bogor.
- Sutarman. 2016. Seleksi *Trichoderma* Spp Dari Bawah Tegakan Pinus Dan Uji Daya Dukung Isolat Terpilih Terhadap Pertumbuhan Tomat Dan Sawi. dalam Prihtanti TM dan Herawati MM (peny.). *Prosiding Konser Karya Ilmiah Nasional*. Hlm. 125-134 Salatiga, 4 Agustus 2016. Salatiga, Indonesia, Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga.
- Sutarman. 2017. Pengujian *Trichoderma* sebagai pengendali hawar daun bibit kakao yang disebabkan oleh *Phytophthora palmivora*. *J Hama Penyakit Tropika* 17 (1): 51-56.
- Talbot JM, Allison SD & Treseder KK. 2008. Decomposers in disguise: mycorrhizal fungi as regulators of soil C dynamics in ecosystems under global change. *Funct.*

*Ecol.* 22, 955–963. doi:<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2435.2008.01402.x>.

Tang Y, Okuda T, Awang M, Rahim Nik A, & Tani M. 2003. Sunfleck contribution to leaf carbon gain in tree seedlings from gap and the understorey in a tropical rain forest. *Biotropica* 31, 268-278.

Tomamitsu H & Tang Y. 2012. Elevated CO<sub>2</sub> differentially affects photosynthetic induction response in two *Populus* species with different stomatal behavior. *Oecologia* 169, 869-878.

Tomè E, Tagliavini M & Scandellari F. 2015. Recently fixed carbon allocation in strawberry plants and concurrent inorganic nitrogen uptake through arbuscular mycorrhizal fungi. *J. Plant Physiol.* 179, 83–89. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jplph.2015.02.008>.

Van der Heijden MG, Streitwolf-Engel R, Riedl R, Siegrist S, Neudecker A, Ineichen K, Boller T, Wiemken A & Sanders IR. 2006. The mycorrhizal contribution to plant productivity, plant nutrition and soil structure in experimental grassland. *New Phytologist* 172, 739-752.

Vargas Gil S, Pastorb S & Marcha GJ. 2009. Quantitative isolation of biocontrol agents *Trichoderma* spp. *Gliocladium* spp. and Actinomycetes from soil with culture media. *Microbiol. Res.* 164, 196–205.

Verma M, Brar SK, Tyagi RD, Surampalli RY & Valero JR. 2007. Antagonistic fungi, *Trichoderma* spp.: panoply of biological control. *Biochemistry Engineering Journal* 37, 1-20.

Vinale F, Sivasithamparam K, Ghisalberti EL, Marra R, Barbetti MJ, Li H, Woo SL & Lorito M. 2008. A novel role for *Trichoderma* secondary metabolites in the interactions with plants. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 72, 80–86.

- Vinale F, Sivasithamparam K, Ghisalberti EL, Marra RS, Woo L & Lorito M. 2008. *Trichoderma*–plant–pathogen interactions. *Soil Biol. Biochem.* 40, 1–10.
- Voets L, De Boulois HD, Renard L, Strullu DG & Declerck S. 2005. Development of an autotrophic culture system for the in vitro mycorrhization of potato plantlets. *FEMS Microbiol. Lett.* 248, 111–118.
- Wang B & Qiu YL. 2006. Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. *Mycorrhiza* 16, 299–363.
- Werner D & Newton WE. 2005. Nitrogen fixation in agriculture, forestry, ecology and the environment. Springer. Netherlands.
- Wurth KR, Winter R & Korner C. 1998. In situ responses to elevated CO<sub>2</sub> in tropical forest understorey plant”. *Func Ecol.* 12, 886–895.
- Yedidiaa I, Benhamoub N, Kapulnikc Y & Cheta I. 2000. Induction and accumulation of PR proteins activity during early stages of root colonization by the mycoparasite *Trichoderma harzianum* strain T-203. *Plant Physiology and Biochemistry* 38 (11): 863–873.
- Yulida M. 2016. Ini Jurusan Kementan dan FAO Agar Lahan Kering Bisa Digarap Petani. <https://finance.detik.com/ekonomi-bisnis/3364375/ini-jurusan-kementan-dan-fao-agar-lahan-kering-bisa-digarap-petani>. Diakses 2 Mei 2017.
- Youssef SA, Tartoura KA & Abdelraouf GA. 2016. Evaluation of *Trichoderma harzianum* and *Serratia proteamaculans* effect on disease suppression, stimulation of ROS-scavenging enzymes and improving tomato growth infected by *Rhizoctonia solani*. *Biological Control* 100, 79–86.

## LAMPIRAN

Lampiran 1. Deskripsi kedelai varietas dena-1 (Balitbang Pertanian, 2016)

Karakteristik Kedelai varietas dena-1:

Tipe tumbuh	: determinit
Tinggi tanaman	: 59 cm
Potensi hasil	: 2,89 t/ha
Rata-rata hasil	: 1,69 t/ha
Bentuk biji	: lonjong
Ukuran biji	: besar
Bobot 100 biji	: 11,07 – 16,06 g
Kandungan protein	: 36,67%
Kandunga lemak	: 18.81%
Umur	: 78 hari
Tahan penyakit	: karat
Tahun	: 2014

Lampiran 2. Analisis kimia dan fisik tanah media tanam

No.	Parameter uji	Nilai	Satuan	Metode
1	pH H <sub>2</sub> O	7,0	-	(1:5). Elektrimeter, pH meter
2	C-oranik	0,80	%	Walkley & Black; Spectrophotometry
3	N-total	0,19	%	Kjeldahl, Titrimetri
4	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	107,33	ppm	Olsen; Spectrophotometry
5	Nilai Tukar Kation			
	KK <sub>dd</sub>	1,49	me.100g <sup>-1</sup>	Perkolasi NH <sub>4</sub> -Acetat 1 M, pH 7; AAS
	Na <sub>dd</sub>	0,34	me.100g <sup>-1</sup>	
	Ca <sub>dd</sub>	14,50	me.100g <sup>-1</sup>	
	Mg <sub>dd</sub>	6,90	me.100g <sup>-1</sup>	
	Kapasitas Tukar Kation (KTK)	24,53	me.100g <sup>-1</sup>	Perkolasi NH <sub>4</sub> -Acetat 1 M, pH 7+ NaCl 10%, Titrimetry
6	Tekstur			
	Pasir	27	%	Hidrometer
	Debu	32	%	
	Liat	41	%	
	Kriteria	Liat	-	Segitiga Tekstur (USDA)

Sumber: Badan Litbang Pertanian, Laboratorium Pengujian Balai Pengkajian Teknologi (BPTP) Jawa Timur, Laboratorium Tanah, Tanaman, Pupuk, Air (No. 215/145/LT/IX/2017).

## BIODATA PENULIS

Dr. Ir. Sutarman, MP lahir di Lampung, 5 Januari 1963. Pendidikan S1 pada Program Studi Hama dan Penyakit Tanaman Universitas Lampung 1984-1988, S2 pada Program Studi Ilmu Tanaman KPK PPS UGM-UNIBRAW 1992-1994, dan Program Doktor Ilmu Kehutanan Institut Pertanian Bogor (IPB) 1998-2003. Pada program studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Sidoarjo (UMSIDA), penulis diberi kepercayaan untuk mengampu mata kuliah Pengelolaan Hama Penyakit Terpadu, Kesuburan dan Mikrobiologi Tanah, Teknologi Bioremediasi, Dasar-dasar Perlindungan Tanaman, dan Kultur Jaringan. Dalam aktivitas penelitiannya penulis mendapat berbagai bentuk hibah penelitian dari Kemenristekdikti seperti: Penelitian Fundamental (2014-2015), Penelitian Unggulan PT (2016), Penelitian Terapan (2016 sebagai anggota), Penelitian Hibah Kompetensi (2015-2016 sebagai anggota; 2017 sebagai ketua), Berbagai luaran di antaranya dalam bentuk artikel jurnal, publikasi seminar/prosiding, buku ajar, dan Teknologi Tepat Guna. Saat ini penulis menjabat sebagai ketua Program Studi Agroteknologi di UMSIDA sekaligus pembina dan perancang Klinik Agrokompleks Faperta UMSIDA yang kegiatannya melayani konsultasi dan pendampingan kelompok tani di Sidoarjo, Mojokerto, Pasuruan, dan wilayah lain di Jawa Timur. Penulis juga aktif sebagai Sekretaris Asosiasi Program Studi Agroteknologi Muhammadiyah periode 2017-2021.



ISBN 978-979-3401-92-8



9 789793 401928