

**PENGARUH PEMBERIAN JENIS INOKULAN EKTOMIKORIZA  
DIKOMBINASIKAN DENGAN NPK UNTUK MENINGKATKAN INFEKSI  
DAN MORFOTIPE AKAR, KETERSEDIAAN FOSFOR, SERTA  
PERTUMBUHAN *Pinus merkusii***

Oleh  
**CITRA AYU PRAMESWARI**



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS PERTANIAN**

**MALANG**

**2019**

**PENGARUH PEMBERIAN JENIS INOKULAN EKTOMIKORIZA  
DIKOMBINASIKAN DENGAN NPK UNTUK MENINGKATKAN INFEKSI  
DAN MORFOLOGI AKAR, KETERSEDIAAN FOSFOR, SERTA  
PERTUMBUHAN *Pinus merkusii***

Oleh  
**CITRA AYU PRAMESWARI**  
155040201111062

**PROGAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI  
MINAT MANAJEMAN SUMBERDAYA LAHAN**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh Gelar Sarjana  
Pertanian Strata Satu (S-1)**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS PERTANIAN  
JURUSAN TANAH  
MALANG**

**2019**

### PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini merupakan hasil penelitian saya sendiri, dengan bimbingan komisi pembimbing. Skripsi ini tidak pernah diajukan untuk memperoleh gelar di perguruan tinggi manapun dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau ditebitkan oleh orang lain, kecuali yang dengan jelas ditunjukkan rujukannya dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Malang, November 2019

Citra Ayu Prameswari



**LEMBAR PERSETUJUAN**

Judul Penelitian : Pengaruh Pemberian Jenis Inokulan Ektomikoriza  
Dikombinasikan NPK untuk Meningkatkan Infeksi dan  
Morfotipe Akar, Ketersediaan Fosfor, serta  
Pertumbuhan *Pinus merkusii*

Nama Mahasiswa : Citra Ayu Prameswari

NIM : 155040201111062

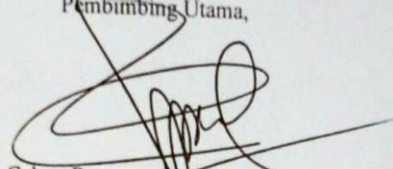
Jurusan : Tanah

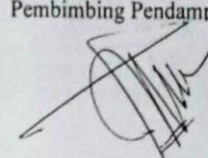
Progam Studi : Agroekoteknologi

Disetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,

  
Cahyo Prayogo, S.P., M.P., Ph.D  
NIP. 19736103 199802 1 002

  
Prof. Dr. I Made Sudiana, M.Sc.  
NIP. 19630831 198803 1 001

Diketahui,  
Ketua Jurusan



Syaiful Kurniawan, S.P., M.P., Ph.D.  
NIP. 19791018 200501 1 010

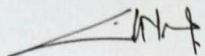
Tanggal Persetujuan : **20 DEC 2019**



LEMBAR PENGESAHAN

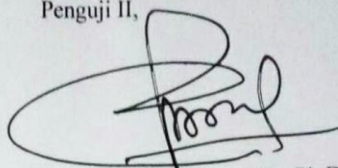
Mengesahkan  
MAJELIS PENGUJI

Penguji I,



Novalia Kusumarini, SP., MP.  
NIP. 19891108 201504 2 001

Penguji II,



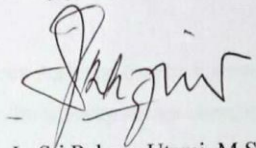
Cahyo Prayogo, SP., MP., Ph.D  
NIP. 19730103 199802 1 002

Penguji III,



Prof. Dr. I Made Sudiana, M.Sc.  
NIP. 19630831 198803 1 001

Penguji IV,



Ir. Sfi Rahayu Utami, M.Sc., Ph.D  
NIP. 19611028 198701 2 001

Tanggal Lulus: 10 JAN 2020



***“Ilmu lebih utama daripada harta karena harta kamulah yang akan menjaga, sedangkan ilmu yang akan menjaga kamu - Ali bin Abi Thalib”***

*Dengan Menyebut Nama Allah SWT, Kupersembahkan Skripsi ini Kepada Almh. Ibu, Bapak, Mama, Adik, Keluarga, dan Sahabat*

## RINGKASAN

**CITRA AYU PRAMESWARI. 155040201111062. Pengaruh Pemberian Jenis Inokulan Ektomikoriza Dikombinasikan NPK untuk Meningkatkan Infeksi dan Morfotipe Akar, Ketersediaan Fosfor, serta Pertumbuhan *Pinus merkusii*. Dibawah Bimbingan Cahyo Prayogo, SP., MP., Ph.D., selaku pembimbing utama dan Prof. Dr. I Made Suidiana, M.Sc. selaku pembimbing pendamping.**

Pengelolaan lahan marginal merupakan salah satu faktor terpenting dalam mencapai fungsi lahan yang berkelanjutan. Salah satu pengelolannya yaitu dengan kegiatan revegetasi menggunakan *Pinus merkusii*. ultisol merupakan salah satu jenis tanah yang banyak ditemui di lahan marginal dengan memiliki permasalahan utama pH tanah rendah, kesuburan tanah rendah, dan tingginya unsur hara P yang terikat. *Pinus merkusii* membutuhkan simbiosis dengan jenis ektomikoriza tertentu dan pemupukan yang sesuai untuk meningkatkan infeksi, ketersediaan fosfor, dan pertumbuhan *Pinus merkusii*. sehingga menghasilkan kualitas bibit *Pinus merkusii* yang baik dan mampu beradaptasi dengan lingkungan. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh dosis pupuk dan penambahan berbagai jenis inokulan untuk meningkatkan infeksi, fraksi fosfor, dan pertumbuhan *Pinus merkusii*.

Penelitian dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi Lingkungan dan Greenhouse Gedung InaCC LIPI Cibinong Bogor pada bulan November 2018–Oktober 2019. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap Faktorial dengan dosis pupuk sebagai faktor pertama dan jenis inokulan sebagai faktor kedua sebanyak 4 ulangan. Kombinasi perlakuan antara lain P0Ii (tanpa pupuk + tanpa inokulan (*indigenous*)); P1Ii (pupuk 3.5 gr/15 kg tanah + tanpa inokulan (*indigenous*)); P2Ii ((pupuk 7 gr/15 kg tanah + tanpa inokulan (*indigenous*)); P0Is (tanpa pupuk + inokulan *Suillus granulatus*); P1Is (pupuk 3.5 gr/15 kg tanah + inokulan *Suillus granulatus*); P2Is (pupuk 7 gr/15 kg tanah + inokulan *Suillus granulatus*); P0Ir (tanpa pupuk + inokulan *Rhizopogon rulesceus*); P1Ir (pupuk 3.5 gr/15 kg tanah + inokulan *Rhizopogon rulesceus*); P2Ir (pupuk 7 gr/15 kg tanah + inokulan *Rhizopogon rulesceus*); P0Im (tanpa pupuk + inokulan *Suillus granulatus* & *Rhizopogon rulesceus*); P1Im (pupuk 3.5 gr/15 kg tanah + inokulan *Suillus granulatus* & *Rhizopogon rulesceus*); P2Im (pupuk 3.5 gr/15 kg tanah + inokulan *Suillus granulatus* & *Rhizopogon rulesceus*). Parameter yang diamati meliputi tinggi tanaman, analisa morfotipe akar dan persentase kolonisasi, sayatan akar, bobot kering tajuk akar, enzim fosfatase, kadar P-total tanah, ketersediaan P, serapan P jaringan tanaman, klorofil, pH, dan C-organik. Analisa data menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA) dengan uji lanjut Duncan 5%.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan penambahan inokulan ektomikoriza dan penambahan pupuk memberikan pengaruh terhadap ketersediaan P. Perlakuan dosis pupuk tertinggi 7 gr/15 kg tanah dan inokulan ektomikoriza *Suillus* + *Rhizopogon* (P2Im) memberikan ketersediaan P yang tertinggi 0,012 mg/gr. Karakter morfotipe akar dan persentase kolonisasi sangat beragam, persentase kolonisasi tertinggi 25,20% pada perlakuan pemberian inokulan *Rhizopogon* (Ir) memiliki morfotipe akar yang dominan yaitu *irregularly pinnate* dark brown. Penambahan NPK tidak akan berhasil tanpa pengaruh dari keberadaan inokulan ektomikoriza untuk menghasilkan karakteristik morfotipe, persentase kolonisasi, dan ketersediaan fosfor yang berpengaruh terhadap pertumbuhan bibit

## SUMMARY

**CITRA AYU PRAMESWARI. 155040201111062. The Effect Giving Types of Ectomycorrhiza Combined With NPK to Increase Infection and Root Morphotype, Phosphorus Availability, and Growth of *Pinus Merkusii*. Supervised by Cahyo Prayogo, SP., MP., Ph.D., as a Main Supervisor and Prof. Dr. I Made Sudiana, M.Sc. as a Field Supervisor.**

---

Marginal land management is one of the most important factors in achieving sustainable land use. One of the management is revegetation activities using *Pinus merkusii*. Ultisol is one type of soil that is mostly found in marginal land with the main problems are low soil pH, low soil fertility, and high levels of P-bound nutrients. Pine merkusii requires symbiosis with certain types of ectomycorrhiza and fertilization that is suitable for increasing infection, availability of phosphorus, and growth of *Pinus merkusii*. The purpose of this study is to determine the effect of fertilizer doses and the addition of various types of inoculants to increase infection, phosphorus fraction, and growth of *Pinus merkusii*.

The research was conducted at the Environmental Microbiology Laboratory and Greenhouse of the InaCC LIPI Building Cibinong Bogor in November 2018-October 2019. The study used a Factorial Complete Randomized Design with fertilizer dosage as the first factor and type of inoculant as the second factor by 4 replications. The combination of treatments includes P0Ii (without fertilizer + without inoculants (indigenous)); P1Ii (fertilizer 3.5 gr/15 kg soil + without inoculant (indigenous)); P2Ii ((fertilizer 7 gr/15 kg soil + without inoculant (indigenous)); P0Is (without fertilizer + inoculant *Suillus granulatus*); P1Is (fertilizer 3.5 gr/15 kg soil + inoculant *Suillus granulatus*); P2Is (fertilizer 7 gr/15 kg soil + inoculant *Suillus granulatus*); P0Ir (without fertilizer + *Rhizopogon rulesceus* inoculant); P1Ir (fertilizer 3.5 gr/15 kg soil + *Rhizopogon rulesceus* inoculant); P2Ir (fertilizer 7 gr/15 kg soil + *Rhizopogon rulesceus* inoculant); P0Im (without fertilizer + inoculant *Suillus granulatus* & *Rhizopogon rulesceus*); P1Im (3.5 gr/15 kg soil fertilizer + inoculant *Suillus granulatus* & *Rhizopogon rulesceus*); P2Im (3.5 gr/15 kg soil fertilizer + inoculant *Suillus granulatus* & *Rhizopogon rulesceus*). The parameters which were measure plant height, root morphotype analysis, dry weight ratio , phosphatase enzymes, P-total soil, P available , P uptake of plant tissue, chlorophyl, pH, and C-organic.

The results showed that the treatment of adding ectomycorrhizal inoculants and the addition of fertilizers affected the availability of P. The treatment of adding the highest fertilizer dose was 7 gr / 15 kg soil and the ectomycorrhizae of *Suillus* + *Rhizopogon* (P2Im) gave the highest P availability of 0.012 mg / gr. The root morphotype character and the percentage of colonization are very diverse, the highest percentage of colonization is 25.20% in the treatment of *Rhizopogon* (Ir) inoculants having the dominant root morphotype, namely irregularly pinnate dark brown. The addition of NPK will not succeed without the influence of the presence of ectomycorrhizal inoculants to produce morphotype characteristics, percentage of colonization, availability of phosphorus, and growth of *Pinus merkusii* seedlings.



## KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadirat Allah SWT sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Pemberian Jenis Inokulan Ektomikoriza Dikombinasikan NPK untuk Meningkatkan Infeksi dan Morfotipe Akar, Ketersediaan Fosfor, serta Pertumbuhan *Pinus merkusii*”**. Pada kesempatan kali ini, penulis tidak lupa menyampaikan ucapan terima kasih banyak atas segala bantuan serta dukungan terutama kepada:

1. Kedua orang tua, adik, keluarga dan sahabat-sahabat saya yang senantiasa memberikan dukungan, motivasi dan do'a.
2. Bapak Syahrul Kurniawan, SP. MP. Ph.D, selaku Ketua Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya.
3. Bapak Cahyo Prayogo, SP. MP. Ph.D, selaku dosen pembimbing yang telah membantu dan memberikan motivasi dalam pengerjaan proposal skripsi ini.
4. Bapak Prof. Dr. I Made Sudiana M.Sc. selaku pembimbing pendamping dan seluruh keluarga Laboratorium Mikrobiologi Lingkungan dan Gedung InaCC LIPI Biologi Ibu Atit, Ibu Yeni, Pak Toga, Pak Idris, Ibu Ety Pak Gunawan, dan semua teman magang dan penelitian.
5. Kepada sahabat-sahabat selama perkuliahan dari semester satu-semester akhir. Kepada Fatan, Anggita, Nesya, Virti, Delvy, Aziz, Eva, Novi, Zuva, Eno, Qisthi, Anggi, Nursa, Indah, Devi, Dinar, Fiqa, dan semua teman-teman yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.
6. Teman-teman MSDL 2015 yang sudah mendukung saya

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, sehingga masukan dan kritik sangat dibutuhkan oleh penulis. Semoga nantinya dapat memberikan banyak manfaat bagi semua pihak.

Malang, November 2019

Citra Ayu Prameswari

## RIWAYAT HIDUP

Penulis lahir di Jakarta pada tanggal 19 Agustus 1997 sebagai putri tunggal dari pasangan Bapak Suroto dan Ibu Herlina. Penulis menempuh pendidikan dasar di SDN Cibubur 11 Pagi Jakarta pada tahun 2003 sampai dengan tahun 2009, kemudian penulis melanjutkan pendidikan di SMPN 9 Jakarta pada tahun 2009 sampai dengan tahun 2012. Penulis melanjutkan pendidikan tingkat menengah atas di SMAS Budhi Warman 2 Jakarta pada tahun 2012 sampai dengan tahun 2015.

Tahun 2015 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Strata-1 di Program Studi Agroekoteknologi, Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya Malang melalui jalur SNMPTN.

Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Ilmu Tanah (HMIT) dan menjabat sebagai anggota departemen kerumahtanggaan dan logistik pada kepengurusan 2017-2018. Penulis juga aktif kepanitiaan pengabdian masyarakat LKM CADS tahun 2015, TEWARTA (Temu Warga Tanah) 2018 dan GATRAKSI (Galang Mitra dan Kenal Profesi) pada tahun 2018. Penulis pernah melakukan magang kerja di Laboratorium Mikrobiologi Lingkungan PUSLIT-BIOLOGI LIPI Cibinong pada tahun 2018 dan melanjutkan penelitian di tempat yang sama dengan mengerjakan project STREPS hingga tahun 2019.

**DAFTAR ISI**

<b>RINGKASAN .....</b>	<b>i</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iii</b>
<b>RIWAYAT HIDUP .....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>ix</b>
<b>I. PENDAHULUAN .....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.1 Latar Belakang .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan .....	3
1.4 Hipotesis .....	3
1.5 Manfaat .....	3
1.6 Alur Pikir Penelitian.....	4
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Permasalahan Ultisol .....	5
2.2 Aplikasi Ektomikoriza Rhizopogon rulesceus.....	5
2.3 Aplikasi Ektomikoriza Suillus granulatus .....	6
2.4 Ektomikoriza Untuk Pertumbuhan Pinus merkusii.....	7
2.5 Pemupukan NPK Majemuk Untuk Pertumbuhan Pinus merkusii ....	8
2.6 Peran Enzim Fosfatase.....	9
<b>III. METODE PENELITIAN.....</b>	<b>10</b>
3.1 Waktu dan Tempat.....	10
3.2 Alat dan Bahan.....	10
3.3 Rancangan Penelitian.....	10
3.4 Variabel Pengamatan .....	11



3.5 Pelaksanaan Penelitian.....	12
3.6 Analisa Data.....	17
<b>II. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>18</b>
4.1 Hasil.....	18
4.1.1 Enzim Fosfatase Asam dan Basa.....	18
4.1.2 Kadar P-Total Tanah.....	19
4.1.3 Ketersediaan P Tanah.....	20
4.1.4 Kadar P Jaringan Tanaman.....	21
4.1.5 Kandungan C-Organik.....	22
4.1.6 Kadar Klorofil.....	23
4.1.7 Nilai pH Tanah.....	24
4.1.8 Rasio Berat Kering Tajuk Akar.....	25
4.1.9 <i>Relative Growth Rate</i> (RGR) 24 MST.....	26
4.1.10 Keragaman Morfotipe Akar dan Persentase Kolonisasi.....	26
4.2 Pembahasan.....	32
4.2.1 Hubungan Kadar P-Total Tanah Terhadap Ketersediaan P dan Kadar P Jaringan Tanaman.....	32
4.2.2 Hubungan Kadar P-total Tanah Terhadap Rasio Berat Kering Tajuk Akar.....	33
4.2.3 Hubungan Kandungan C-Organik Terhadap Ketersediaan P.....	34
4.2.4 Hubungan Nilai pH Tanah Terhadap Aktivitas Fosfatase Basa.....	35
4.2.5 Kadar Klorofil Tanaman.....	36
4.2.6 Pengaruh Penambahan Perlakuan Terhadap Persentase Kolonisasi.....	37
<b>V. KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>39</b>
5.1 Kesimpulan.....	39
5.2 Saran.....	39
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>40</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>44</b>



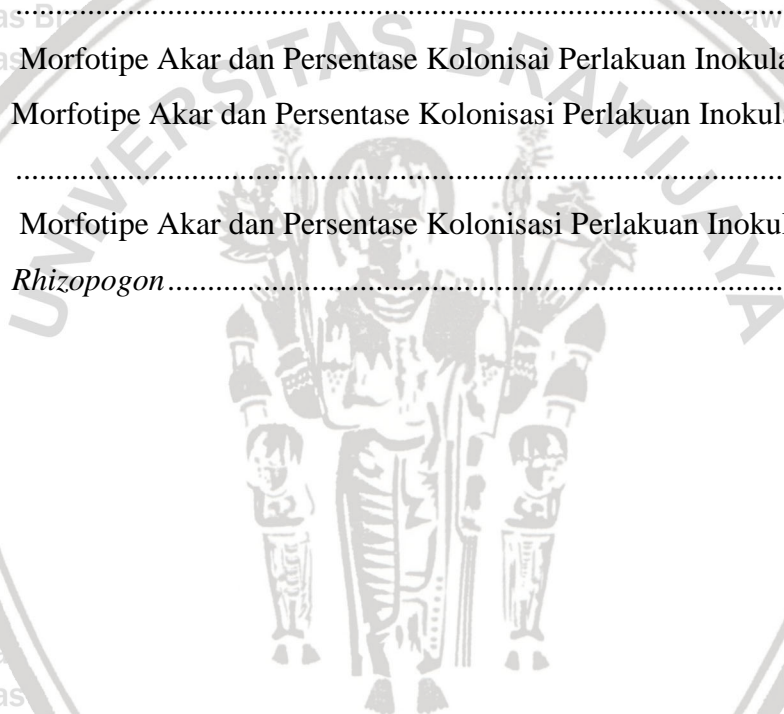
DAFTAR GAMBAR

Nomor	Teks	Halaman
1.	Alur Pikir Penelitian.....	4
2.	Spesies <i>Suillus</i> pada <i>Pinus</i> sp.....	7
3.	Isolat Ektomikoriza Untuk Perbanyakkan .....	13
4.	Pengamatan Tinggi Tanaman 24 MST .....	14
5.	Aktivitas Enzim Fosfatase Asam dan Basa Akibat Perlakuan.....	18
6.	Kadar P-Total Tanah Akibat Perlakuan .....	19
7.	Ketersediaan P Tanah Akibat Perlakuan.....	20
8.	Kadar P Jaringan Tanaman Akibat Perlakuan .....	21
9.	Kandungan C-Organik Akibat Perlakuan .....	22
10.	Kadar Klorofil Akibat Perlakuan .....	23
11.	Nilai pH Tanah Akibat Perlakuan .....	24
12.	Morfotipe Akar <i>Pinus merkusii</i> .....	27
13.	Sayatan akar melintang <i>Pinus merkusii</i> setelah inokulasi.....	31
14.	Hubungan P-Total Tanah Terhadap .....	32
15.	Hubungan Kadar P-Total Tanah Terhadap Rasio Berat Kering Tajuk Akar.....	33
16.	Hubungan Kandungan C-Organik Terhadap Ketersediaan P .....	35
17.	Hubungan Nilai pH Tanah Terhadap Aktivitas Fosfatase Basa.....	36



DAFTAR TABEL

Nomor	Teks	Halaman
1.	Beberapa spesies <i>Suillus</i> pada <i>Pinus</i> sp .....	7
2.	Taraf Perlakuan Penelitian.....	11
3.	Kombinasi Perlakuan Penelitian .....	11
4.	Variabel Pengamatan Penelitian.....	12
5.	Pengaruh Perlakuan Terhadap Rasio Berat Kering Tajuk Akar.....	25
6.	Pengaruh Perlakuan Terhadap <i>Relative Growth Rate</i> (RGR) 24 MST.....	26
7.	Morfotipe Akar dan Persentase Kolonisasi Perlakuan Inokulan Indigenus .....	28
8.	Morfotipe Akar dan Persentase Kolonisasi Perlakuan Inokulan <i>Suillus</i> ....	29
9.	Morfotipe Akar dan Persentase Kolonisasi Perlakuan Inokulan <i>Rhizopogon</i> .....	30
10.	Morfotipe Akar dan Persentase Kolonisasi Perlakuan Inokulan <i>Suillus</i> + <i>Rhizopogon</i> .....	31



## DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Teks	Halaman
1.	Denah Penelitian.....	44
2.	Hasil ANOVA.....	45
3.	Tabel Korelasi Hubungan Antara Variabel Pengamatan .....	48
4.	Dokumentasi Penelitian.....	49



## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Permasalahan Ultisol

Ultisol merupakan salah satu jenis tanah di Indonesia yang mempunyai sebaran luas, mencapai 45.794.000 ha atau sekitar 25% dari total luas daratan Indonesia (Subagyo *et al*, 2004). Ultisol memiliki beberapa kendala yang dapat menyebabkan terhambatnya pertumbuhan tanaman, salah satunya terdapat pada sifat kimia tanah seperti reaksi tanah masam, C-organik rendah sampai sangat rendah (0,13% - 1,12%), N-total rendah (0.09 – 0.18%), unsur hara makro seperti P, K, Ca dan Mg rendah, kejenuhan Al tinggi yaitu > 60% yang bersifat beracun untuk tanaman, kapasitas tukar kation (KTK) dan kejenuhan basa (KB) rendah hingga sangat rendah (Prasetyo dan Suriadikarta, 2006). Reaksi Tanah Ultisol pada umumnya masam hingga sangat masam (pH 3-5), kecuali Tanah Ultisol dari batu gamping yang mempunyai reaksi netral hingga agak masam (pH 6,80–6,50) (Sujana dan Pura, 2015). Tanah masam sangat sulit menyediakan unsur hara makro P karena berikatan dengan kation Al dan Fe yang pada umumnya tersedia pada pH sekitar 6-7 (Hardjowigeno, 2003).

### 2.2 Aplikasi Ektomikoriza *Rhizopogon rulesceus*

Genus *Rhizopogon* termasuk dalam ordo Boletales dan terdiri dari sekitar 100 spesies. *Rhizopogon roseolus* merupakan jamur yang juga bisa dimakan tetapi tidak umum untuk dikonsumsi. Alasan penggunaan *Rhizopogon rulesceus* pada penelitian yaitu mudah diproduksi dalam media kultur dan membentuk ektomikoriza yang melimpah dengan bibit yang mengandung kecambah (Molina, 1980). Jamur ini telah menunjukkan efek perlindungan parsial terhadap patogen pada bibit konifer (Chakravarty dan Hwang, 1991). *Rhizopogon rulesceus* adalah jamur ektomikoriza yang sering ditemukan pada pinus yang tumbuh secara alami di seluruh dunia (Grubisha *et al*, 2001). Hasil penelitian menunjukkan bahwa spesies ini memberikan kondisi menguntungkan untuk pengembangan bibit pinus, spesies ini sering muncul di tanah pembibitan dan mendukung keberhasilan perkebunan (Tedersoo *et al*, 2009).



### 2.3 Aplikasi Ektomikoriza *Suillus granulatus*

*Suillus granulatus* adalah jamur yang lebar diameter tudungnya tidak melebihi 9 cm, tudung awalnya memiliki bentuk cembung dan ditandai dengan warna oranye-coklat pada permukaannya. Kutikula tampak tebal dan berwarna cerah pada saat musim hujan atau musim kemarau. Hymenium pada saat baru tumbuh berwarna putih pucat dan ketika sudah besar berwarna kuning, berukuran pendek, serta kuat (Rios, 2011). Pori-pori hymenium pada spesimen muda berwarna putih susu, ketika dikeringkan membentuk butiran pada tangkai buah. Bagian tangkai buah berbentuk silindris, ketika masih berumur muda berwarna putih pucat dan beralih ke berwarna kuning. Daging buah berwarna kuning pucat atau terkadang berwarna putih, kemudian daging buah padat saat berumur muda dan melunak dengan seiring waktu, Jamur ini secara fenotip sangat mirip dengan *Suillus luteus* yang membedakan yaitu *Suillus granulatus* tidak memiliki cincin di bagian tangkai buah (Rios, 2011).

Menurut Rios (2011) *Suillus granulatus* tumbuh bersimbiosis dengan *Pinus* spp, terkadang tubuh buah muncul dalam jumlah besar terutama pada saat hujan di musim gugur. *Suillus granulatus* terdapat di seluruh dunia, yang paling umum ditemukan yaitu di daerah Inggris, benua Eropa, Amerika Selatan dan Utara serta telah diperkenalkan di Australia terkait dengan simbiosis *Suillus granulatus* terhadap *Pinus radiata*. *Suillus granulatus* di negara Argentina tubuh buahnya dapat tumbuh di bawah pohon-pohon pinus pada bulan Maret, April, dan Mei pada saat hujan di musim gugur di daerah pegunungan dan kaki bukit. Jamur ini memiliki rasa, aroma, dan nilai gizi yang baik sehingga dapat menjadi pelengkap makanan. Jamur ini mengandung tingkat protein tinggi (46,49%), tingkat serat sedang (16,66%) dan kadar air yang tinggi (> 85%). Sejauh ini, kandungan dan konsentrasi metabolit sekunder belum dikarakterisasi. Meskipun masalah toksisitas belum pernah terjadi, *Suillus granulatus* terkadang dapat menyebabkan dermatitis ringan pada mereka yang mengkonsumsinya tidak memperhatikan cara pengolahannya dengan benar.

Spesies *Suillus* terdapat beberapa yang menjadikan *Pinus* spp sebagai inang spesifiknya. Menurut Bayman *et al* (2016), beberapa spesies *Suillus* yang bersimbiosis dengan *Pinus* spp (Tabel 1).

**Tabel 1.** Beberapa spesies *Suillus* pada *Pinus* sp

No	<i>Suillus</i> spesies	<i>Pinus</i> host spesies
1.	<i>Suillus granulatus</i>	<i>Pinus sylvestris</i>
2.	<i>Suillus collinitus</i>	<i>Pinus halepensis</i>
3.	<i>Suillus luteus</i>	<i>Pinus pinaster</i>
4.	<i>Suillus bellinii</i>	<i>Pinus pinaster</i>
5.	<i>Suillus mediterraneensis</i>	<i>Pinus halepensis</i>
6.	<i>Suillus variegatus</i>	<i>Pinus sylvestris</i>
7.	<i>Suillus bovinus</i>	<i>Pinus sylvestris</i>



(a) (b) (c) (d)

**Gambar 1.** Spesies *Suillus* pada *Pinus* sp (a. *Suillus collinitus*, b. *Suillus luteus*, c. *Suillus bellinii*, d. *Suillus granulatus*)

### 2.4 Ektomikoriza Untuk Pertumbuhan *Pinus merkusii*

*Pinus merkusii* merupakan tanaman yang bersimbiosis secara obligat dengan cendawan ektomikoriza. Darwo dan Sugiarti (2008) menyatakan cendawan ektomikoriza penggunaannya sangat terbatas dan bersifat spesifik, yaitu hanya dapat ditemukan dan digunakan pada tanaman keras, seperti pada tanaman kehutanan tertentu (tusam, eukaliptus, dan keluarga *Dipterocarpacea*). Ketergantungan pinus terhadap ektomikoriza karena habitatnya yang miskin unsur hara atau availibilitasnya rendah. Ektomikoriza merupakan salah satu bentuk mikoriza yang merupakan asosiasi simbiosis mutualistik antara akar tumbuhan dengan hifa cendawan. Cendawan tersebut memanfaatkan nutrisi berupa gula hasil fotosintesis dari inangnya dan sebagai gantinya cendawan tersebut berperan sebagai mediator untuk menyerap air dan mineral dari dalam tanah (Hibbett *et al*, 2000).

Cendawan mikoriza juga mempunyai peranan yang penting diantaranya adalah meningkatkan serapan fosfor (P) dan unsur hara lainnya, seperti N, K, Zn, Co, S dan Mo dari dalam tanah, meningkatkan ketahanan terhadap kekeringan,

memperbaiki agregat tanah, meningkatkan pertumbuhan mikroba tanah yang bermanfaat bagi pertumbuhan tanaman inang serta sebagai pelindung tanaman dari infeksi patogen akar (Halis *et al.*, 2008). Mikoriza juga berperan penting dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman agrikultur, hortikultura, dan tanaman hutan (Wubet *et al.*, 2003). Cendawan ektomikoriza merupakan bentuk simbiosis yang banyak ditemui pada akar yang mengabsorpsi air dan hara. Akar yang dikolonisasi ektomikoriza memiliki karakteristik yang khas dengan terbentuknya tiga komponen struktur yaitu selubung atau mantel jaringan cendawan yang menyelimuti akar, pertumbuhan hifa di antara sel-sel epidermis dan korteks yang membentuk labirin, dan sistem elemen hifa yang tumbuh ke luar dan membentuk koneksi yang esensial antara tanah dan tubuh buah yang terbentuk dari cendawan ektomikoriza (Vioblet *et al.*, 2001).

### 2.5 Pemupukan NPK Majemuk Untuk Pertumbuhan *Pinus merkusii*

Pemberian pupuk bertujuan untuk meningkatkan ketersediaan unsur hara dalam tanah. Menurut Wijaya (2008) pemupukan dilakukan sebagai upaya untuk mencukupi kebutuhan tanaman agar tujuan produksi dapat dicapai. Salah satu jenis pupuk majemuk yang dapat digunakan untuk meningkatkan produktivitas tanaman adalah pupuk NPK mutiara (16:16:16). Keuntungan menggunakan pupuk majemuk (NPK) adalah (1) Dapat dipergunakan dengan memperhitungkan kandungan zat hara sama dengan pupuk tunggal, (2) apabila tidak ada pupuk tunggal dapat diatasi dengan pupuk majemuk, (3) penggunaan pupuk majemuk sangat sederhana, dan (4) pengangkutan dan penyimpanan pupuk ini menghemat waktu, ruangan, dan biaya (Pirngadi dan Abdurachman, 2005). Pupuk NPK Phonska (15:15:15) merupakan salah satu produk pupuk NPK yang telah beredar di pasaran dengan kandungan nitrogen (N) 15%, Fosfor ( $P_2O_5$ ) 15%, Kalium ( $K_2O$ ) 15%, Sulfur (S) 10%, dan kadar air maksimal 2%. Pupuk majemuk ini hampir seluruhnya larut dalam air, sehingga unsur hara yang dikandungnya dapat segera diserap dan digunakan oleh tanaman dengan efektif.

Menurut Sarief (1989) unsur N merupakan unsur utama bagi pertumbuhan tanaman sebab merupakan penyusun dari semua protein dan asam nukleat dan juga merupakan penyusun protoplasma secara keseluruhan. Unsur P berperan langsung terhadap metabolisme karbohidrat, sebagai sumber energi utama dalam

pembentukan ADP dan ATP serta berperan dalam pembelahan sel tanaman. Unsur K seringkali terakumulasi pada titik tumbuh tanaman, sehingga dapat merangsang pertumbuhan tanaman pada tingkat pemulaan serta mempercepat pertumbuhan jaringan meristem. Unsur N berperan utama dalam pembentukan jaringan meristem, merangsang pembentukan cabang, daun, dan tunas pucuk, sedangkan fungsi dari pemberian unsur P dapat merangsang pertumbuhan akar dan pembentukan sistem perakaran, dan fungsi unsur K adalah membantu kelancaran proses fotosintesis, memacu pertumbuhan tanaman pada tingkat permulaan serta memperkuat batang tanaman (Lingga dan Harsono, 2008). Dengan tersedianya unsur hara untuk pertumbuhan didukung dengan cara pemupukan yang tepat akan menghasilkan fase pertumbuhan yang lebih baik.

## 2.6 Peran Enzim Fosfatase

Mikroba tanah dan akar tumbuhan menghasilkan enzim fosfatase. Fungsi enzim tersebut untuk memineralisasi fosfor (P) atau P-organik menjadi P-anorganik yang kemudian dapat diserap dan dimetabolisme oleh sel-sel akar tumbuhan maupun mikroba (Rahmansyah, 2004). Enzim fosfatase di tanah didapatkan sebagai enzim ekstraseluler. Enzim fosfatase yang dihasilkan mikroba adalah yang aktif pada kondisi asam dan basa, oleh karena itu maka untuk penamaannya disebut sebagai fosfatase asam dan fosfatase basa. Aktivitas fosfatase yang sensitif terhadap perubahan lingkungan menjadikannya indikator kesuburan tanah.

Keasaman tanah dan kandungan organik pada tanah berpengaruh pada aktivitas fosfatase. Produksi fosfatase bergantung pada kombinasi antara kebutuhan P tanaman dan mikrob tanah, ketersediaan substrat, dan keterbatasan P pada tanah (Margalef *et al*, 2017). Adanya input bahan organik mampu meningkatkan total mikroba tanah, aktivitas enzim, dan meningkatkan aktivitas mikroba tanah lainnya (Gu *et al*. 2009). Kandungan karbon organik memiliki korelasi kuat dengan aktivitas fosfatase asam dalam tanah yang sedang direhabilitasi (Claassens *et al*, 2005). Rendahnya aktivitas fosfatase basa dan fosfodiesterase pada tanah pertanian lebih berkaitan dengan rendahnya kandungan fosfat-diester pada tanah tersebut (Senwo *et al*, 2007).

## II. METODE PENELITIAN

### 3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini bertempat di Rumah Kaca Gedung InaCC, Ruang Mikroskop Gedung InaCC, dan Laboratorium Mikrobiologi Lingkungan Pusat Penelitian Biologi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Cibinong, Jawa Barat. Penelitian dilaksanakan pada bulan November 2018 sampai dengan Oktober 2019.

### 3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan penelitian pada laboratorium yaitu tabung ukur, timbangan digital, erlenmeyer, *laminar air flow cabinet* (LAFC), autoclave, pembakar bunsen, sumbat kapas, sheel, plastik klip, mikroskop stereo Olympus SZX16, mikrotom beku Yamato RV-240, cawan petri, pisau scapel, pinset, hand counter, oven, sentrifuge, spektrofotometer UV VIS, shaker, vortex, stirrer, *varioskan lux reader*, microplate, pH meter, mikro pipet, mikro tip, inkubator, tabung reaksi, falcon, gelas piala. Alat yang digunakan di lapangan atau *greenhouse* yaitu cangkul, pot, ajir, tali, meteran, sekop, gembor.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini di laboratorium yaitu bibit *Pinus merkusii*, tanah, media cair MMN, isolat *Suillus granulatus* & *Rhizopogon rulesceus*, pupuk NPK mutiara 16:16:16, *root tips*, blok gelatin (mengandung 0.8 % DMSO, 2 % gliserol, dan 20 % gelatin) 4-nitrofenol, 4-nitrofenil fosfat, kalsium klorida ( $\text{CaCl}_2$ ), NaOH, kalium persulfate ( $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ), asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), besi sulfat ( $\text{FeSO}_4$ ), ammonium molybdate, aquades, sampel jaringan tanaman, potassium dichromate ( $\text{KCr}_2\text{O}_7$ ).

### 3.3 Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap Faktorial (RALF) dengan perlakuan pemberian pupuk NPK dengan taraf 3 dosis yaitu 0 gr/15 kg tanah, 3,5 gr/15 kg tanah, 7 gr/15 kg tanah. Jenis inokulan ektomikoriza yang digunakan yaitu indigenous (kontrol), *Suillus granulatus*, *Rhizopogon rulesceus*, dan *Suillus granulatus* + *Rhizopogon rulesceus* (Tabel 2). Perlakuan dilakukan dengan 4 kali ulangan, sehingga total terdapat 48 kombinasi perlakuan (Tabel 3).

**Tabel 1.** Taraf Perlakuan Penelitian

Perlakuan	Taraf
Pupuk NPK (P)	0 gr/15 kg tanah , 3,5 gr/15 kg tanah, 7 gr/15 kg tanah
Jenis inokulan ektomikoriza (I)	Indigenous (kontrol), <i>Suillus granulatus</i> , <i>Rhizopogon rulesceus</i> , dan <i>Suillus granulatus</i> + <i>Rhizopogon rulesceus</i>

**Tabel 2.** Kombinasi Perlakuan Penelitian

Kode	Keterangan
P0Ii	Tanpa pupuk + Inokulan indigenous (kontrol)
P1Ii	Pupuk 3,5 gr/15 kg tanah + Inokulan indigenous (kontrol)
P2Ii	Pupuk 7 gr/15 kg tanah + Inokulan indigenous (kontrol)
P0Is	Tanpa pupuk + Inokulan <i>Suillus granulatus</i>
P1Is	Pupuk 3,5 gr/15 kg tanah + Inokulan <i>Suillus granulatus</i>
P2Is	Pupuk 7 gr/15 kg tanah + Inokulan <i>Suillus granulatus</i>
P0Ir	Tanpa pupuk + Inokulan <i>Rhizopogon rulesceus</i>
P1Ir	Pupuk 3,5 gr/15 kg tanah + Inokulan <i>Rhizopogon rulesceus</i>
P2Ir	Pupuk 7 gr/15 kg tanah + Inokulan <i>Rhizopogon rulesceus</i>
P0Im	Tanpa pupuk + Inokulan Mix ( <i>Suillus granulatus</i> + <i>Rhizopogon rulesceus</i> )
P1Im	Pupuk 3,5 gr/15 kg tanah + Inokulan Mix ( <i>Suillus granulatus</i> + <i>Rhizopogon rulesceus</i> )
P2Im	Pupuk 7 gr/15 kg tanah + Inokulan Mix ( <i>Suillus granulatus</i> + <i>Rhizopogon rulesceus</i> )

### 3.4 Variabel Pengamatan

Pengamatan yang dilakukan terdiri dari pengamatan tanaman dan pengamatan tanah. Pengamatan tanaman (tinggi tanaman, kadar klorofil, morfotipe akar dan persentase kolonisasi, sayatan akar, bobot kering tajuk akar) dan pengamatan tanah (enzim fosfatase asam dan fosfatase basa, P-total tanah, P-tersedia, kadar P jaringan tanaman, pH tanah, dan C-organik). Parameter, metode, dan waktu pengamatan disajikan pada (Tabel 4).

**Table 3.** Variabel Pengamatan Penelitian

Obyek	Parameter	Metode Analisis	Waktu Pengamatan
Agronomi	Tinggi Tanaman	Pengukuran manual	0 MST, 4 MST, 8 MST, 12 MST, 16 MST, 20 MST, 24 MST
Biologi Tanah	Morfotipe akar dan persentase kolonisasi	Metode Agerer dan metode Brundrett	24 MST
	Sayatan akar	Metode Smith dan Dickson	24 MST
Biomassa	Bobot kering tajuk dan akar	Metode manual	24 MST
Kimia Tanah	Enzin fosfatase asam dan basa	Metode spektrofometer	24 MST
	P-total tanah	Merode bomb dan spektrofotometer	24 MST
	P-tersedia tanah	Metode spektrofotometer	24 MST
	Kadar P jaringan tanaman	Merode bomb dan spektrofotometer	24 MST
	pH tanah	H <sub>2</sub> O	Setelah panen
	Kadar klorofil	Metode spektrofotometer	Setelah panen
	C-organik	Walkley and Black	Setelah Panen

### 3.5 Pelaksanaan Penelitian

#### 3.5.1 Penanaman Bibit *Pinus merkusii*

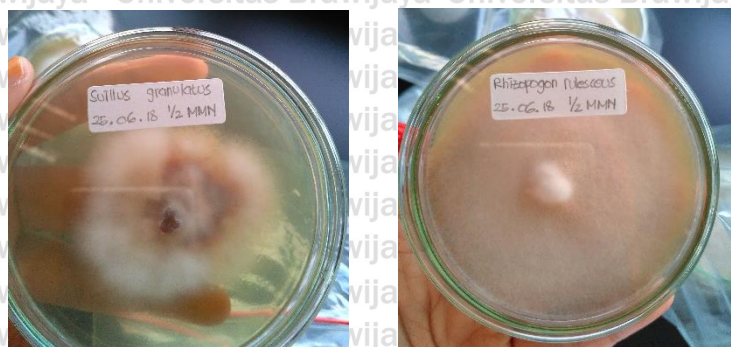
Penanaman bibit *Pinus merkusii* menggunakan bibit yang berumur 1 tahun.

Penanaman dilakukan dengan memindahkan bibit *Pinus merkusii* ke pot yang sudah berisikan tanah. Tanah yang digunakan berasal dari lahan Kebun Raya Bogor 2. Bibit yang telah selesai ditanam untuk menunjang pertumbuhan bibit agar tegak lurus maka bibit dipasangkan ajir dan mengikatnya dengan tali rafia.

#### 3.5.2 Pembuatan Inokulan Ektomkoriza

Pembuatan inokulan ektomikoriza menggunakan ektomikoriza jenis *Suillus granulatus* dan *Rhizopogon rulesceus*. Pembuatan inokulan dengan memperbanyak isolat ektomikoriza yang sudah terlebih dahulu dikultur.

Perbanyak menggunakan media Modified Melin Norkrans (MMN) cair sebanyak 3 liter. Memasukkan isolat ke dalam media Modified Melin Norkrans (MMN) tersebut, setelah itu melakukan penginkubasian selama 1 bulan.



Gambar 1. Isolat Ektomikoriza Untuk Perbanyakan

### 3.5.3 Pengaplikasian Pupuk NPK dan Inokulan Ektomikoriza

Pengaplikasian inokulan ektomikoriza dilakukan setelah proses kultur perbanyakan isolat berumur 1 bulan. Pemberian inokulan ke bibit *Pinus merkusii* sebanyak 200 mL/bibit sesuai dengan perlakuan yang diberikan, untuk perlakuan pemberian gabungan dari *Suillus granulatus* dan *Rhizopogon rulesceus* menggunakan dosis 100 mL/isolat/bibit sehingga dosis yang diberikan sama jumlahnya 200 mL/bibit. Pemberian pupuk NPK menggunakan pupuk NPK 16:16:16 dengan dosis perlakuan yang ada pada (Tabel 2). Pemberian pupuk dilakukan pertama kali setelah 2 minggu pemberian inokulan ektomikoriza, kemudian setelah itu pemberian pupuk dilakukan dalam rentan waktu 2 minggu sekali. Pengaplikasian pupuk dilakukan dengan membenamkannya di media tanah dengan tidak terlalu dekat dengan perakaran.

### 3.5.4 Analisa Morfotipe Ektomikoriza

Tahapan pertama analisa morfotipe yaitu mengambil sampel akar dari bibit *Pinus merkusii*, kemudian mengobservasi sampel akar di bawah mikroskop stereo Olympus SZX16, kemudian mengidentifikasi akar yang diduga terkolonisasi ektomikoriza dan mengkarakterisasi morfotipe sesuai dengan acuan metode Agerer (1991). Sampel akar yang diperoleh, kemudian dikelompokkan berdasarkan morfotipe masing-masing dan dihitung persen kolonisasi menggunakan rumus:

$$\text{Persentase Kolonisasi} = \frac{\text{Jumlah akar terkolonisasi}}{\text{Total akar teramati}} \times 100\%$$

### 3.5.5 Sayatan Akar

Karakteristik kolonisasi *root tips* lebih lanjut dianalisis menggunakan sayatan melintang akar dengan mikrotom beku Yamato RV-240, untuk mengamati struktur mantel dan jala Hartig. Akar dipotong dengan panjang 0.5 cm dan



disimpan dalam *freezer* ( $-20^{\circ}\text{C}$ ) selama 1 jam. Potongan akar tersebut dimasukkan ke dalam blok gelatin (mengandung 0.8 % DMSO, 2 % gliserol, dan 20 % gelatin), kemudian dibekukan di dalam *freezer*. Blok gelatin tersebut dipotong menggunakan mikrotom beku dan potongan akar diamati Yamato RV-240 dengan tebal  $15\ \mu\text{m}$  (Smith dan Dickson 1991).

### 3.5.6 Pengamatan Tinggi Tanaman

Tinggi *Pinus merkusii* diukur dari bagian pangkal batang sampai titik tumbuh tertinggi pada awal penanaman bibit di pot dan dilakukan pada rentan waktu 1 bulan sekali dari 0 MST hingga 24 MST.



Gambar 2. Pengamatan Tinggi Tanaman 24 MST

### 3.5.7 Bobot Kering Tajuk dan Akar

Memisahkan bagian tajuk dan akar *Pinus merkusii*, setelah itu mengeringkan dalam oven selama 48 jam pada suhu  $65^{\circ}\text{C}$ . Bagian tajuk dan akar yang telah kering, kemudian ditimbang.

### 3.5.8 Analisa P Total Tanah

Metode yang digunakan yaitu *bomb method* (Aspila *et al*, 1976). Tahapan cara untuk ekstraksi P total ini yaitu menimbang tanah sebanyak 0,5 gram memasukkannya kedalam erlenmeyer, bersama dengan 0,1 gram kalium persulfate ( $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ) dan 5 ml asam sulfat pekat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Memanaskan sampel dalam oven pada suhu  $135^{\circ}\text{C}$  selama 2 jam, setelah melakukan pemanasan selama 2 jam kemudian mengeluarkan sampel dari oven dan langsung melakukan pengenceran dengan menambahkan aquades sebanyak 500 ml. Larutan sampel yang sudah diencerkan kemudian melakukan penghomogenan dengan shaker selama 24 jam.

Larutan sampel yang sudah dihomogenkan selama 24 jam kemudian melakukan pemisahan larutan menggunakan sentrifuge dengan kecepatan 7000

rpm selama 3 menit untuk mendapatkan supernatan dari larutan sampel. Mengambil Supernatan dari sampel sebanyak 1 ml, lalu menambahkan dengan 3 ml aquades, dan 1 ml reagen warna besi sulfat ( $\text{FeSO}_4$ ) dan ammonium molybdate ( $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) Larutan sampel yang sudah ditambahkan dengan larutan lainnya kemudian melakukan penghomogenan dengan vortex selama 5 detik, kemudian diukur dengan spektrofotometer UV-Vis pada 600 nm.

### 3.5.9 Pengukuran Enzim Fosfatase Asam dan Basa

Menimbang 1 g sampel tanah lalu memasukkan ke dalam tabung reaksi, kemudian menambahkan 4 ml buffer universal yang sudah dimodifikasi pH 6,5 (untuk pengujian fosfatase asam) dan pH 11 (untuk pengujian fosfatase basa) dan menambahkan juga 1 ml larutan 4-nitrophenyl fosfat. Menghomogenkan larutan dengan vortex selama beberapa detik untuk mencampur isinya. Setelah larutan tercampur menginkubasi pada suhu  $37^\circ\text{C}$  dalam inkubator selama 90 menit. Mengambil larutan yang sudah diinkubasi 1 ml dan menambahkan 1 ml 0,5 M  $\text{CaCl}_2$  dan 4 ml 0,5 M NaOH untuk menonaktifkan enzim dan mengekstraksi 4-nitrophenol yang dibebaskan. Memisahkan larutan untuk diambil supernatannya dengan sentrifuge 4000 rpm selama 30 detik, setelah itu mengukur absorbansi dengan spektrofotometer UV VIS panjang gelombang 420 nm (Tabatabai dan Bremner, 1969).

### 3.5.10 Analisa P tersedia

Pengekstraksian sampel dilakukan dengan menimbang tanah sebanyak 2 gram dan menambahkan aquades 3 ml, setelah itu menghomogenkan larutan dengan vortex selama 5 detik. Melakukan pemisahan larutan dengan sentrifuge dengan kecepatan 7000 rpm selama 3 menit untuk mendapatkan supernatan dari larutan sampel. Pengukuran P tersedia dilakukan dengan mengambil supernatan dari sampel sebanyak 1 ml, lalu menambahkan dengan 3 ml aquades, dan 1 ml reagen warna besi sulfat ( $\text{FeSO}_4$ ) dan ammonium molybdate ( $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ). Menghomogenkan larutan sampel yang sudah ditambahkan dengan larutan lainnya dengan vortex selama 5 detik, kemudian

mengukur absorbansi dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 600 nm.

#### 3.5.11 Pengukuran Kadar P Jaringan Tanaman

Metode yang digunakan yaitu *bomb method* (Aspila *et al*, 1976). Cara pengekstraksian P total ini yaitu menimbang bagian jaringan tanaman yang sudah terlebih dahulu dihaluskan dengan blender sebanyak 0,5 gram dan memasukkannya ke dalam erlenmeyer, bersama dengan 0,1 gram kalium persulfate ( $K_2S_2O_8$ ) dan 5 ml asam sulfat pekat ( $H_2SO_4$ ). Sampel dilakukan pemanasan dalam oven pada suhu  $135^\circ C$  selama 2 jam, setelah melakukan pemanasan selama 2 jam kemudian mengeluarkannya dari oven dan melakukan pengenceran dengan menambahkan aquades sebanyak 500 ml. Larutan sampel yang sudah diencerkan kemudian menghomogenkannya dengan shaker selama 24 jam.

Larutan sampel yang sudah dihomogenkan dengan shaker selama 24 jam, selanjutnya melakukan pemisahan larutan dengan sentrifuge kecepatan 7000 rpm selama 3 menit untuk mendapatkan supernatan dari larutan sampel. Mengambil supernatan dari sampel sebanyak 1 ml, lalu mencampurnya dengan 3 ml aquades, 1 ml reagen warna besi sulfat ( $FeSO_4$ ) dan ammonium molybdate ( $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$ ). Larutan sampel yang sudah ditambahkan dengan larutan lainnya kemudian melakukan penghomogenan kembali dengan vortex selama 5 detik, kemudian mengukur absorbansi dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 600 nm.

#### 3.5.12 Analisa C-Organik

Menimbang 0,5 g tanah yang telah lolos ayakan 0,5 mm kemudian memasukkannya ke labu erlenmeyer 100 ml. Setelah itu menambahkan 5 ml  $K_2Cr_2O_7$  dan 7,5 ml  $H_2SO_4$  pekat (97%) ke dalam labu erlenmeyer dan mendiampkannya selama 30 menit. Mengencerkan larutan dengan menambahkan aquades hingga tanda garis pada labu erlenmeyer dan mendiampkannya selama 24 jam. Keesokan harinya mengukur absorbansi larutan jernih dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 561 nm.

### 3.5.13 Pengukuran pH Tanah

Analisa pH H<sub>2</sub>O tanah dilakukan pada setelah panen menggunakan pH meter. Prosedur yang digunakan yaitu dengan menimbang sampel tanah sebanyak 2 gram lalu memasukkan ke dalam botol falcon, kemudian menambahkan aquades sebanyak 10 ml aquades dan menghomogenkannya dengan shaker selama 30 menit. Setelah melakukan penghomogenan, kemudian mengukur sampel menggunakan pH meter.

### 3.5.14 Analisa Kadar Klorofil

Prosedur yang digunakan yaitu dengan menimbang 0,1 gram daun dalam keadaan masih segar, kemudian memotongnya menjadi bagian kecil dengan menggunakan gunting, memasukkannya kedalam botol falcon dan menambahkan aseton murni 95% 10 ml. Larutan sampel kemudian dilakukan inkubasi ditempat kedap cahaya selama 24 jam. Setelah penginkubasian kemudian melakukan pemisahan larutan dengan sentrifuge kecepatan 7000 rpm selama 3 menit, mengambil supernatan pada larutan dan memasukkannya ke microplate untuk diukur dengan *varioskan lux reader* panjang gelombang 663 nm & 645 nm.

## 3.6 Analisa Data

Data yang telah didapatkan dilakukan rekapitulasi menggunakan *Microsoft Excel 2016*, selanjutnya dilakukan analisis ragam atau *Anlysis of Variance* (ANOVA) menggunakan uji F dengan aplikasi *Genstat 12th Edition*. Analisis ragam yang diamati meliputi aktivitas enzim fosfatase, kadar P-total tanah, ketersediaan P tanah, serapan P jaringan tanaman, kadar klorofil, nilai pH tanah, kandungan C-organik, *relative growth rate* 24 MST, dan rasio berat kering tajuk akar. Analisis ragam dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat pengaruh perlakuan terhadap parameter pengamatan. Apabila terdapat pengaruh nyata, maka akan dilakukan uji lanjut dengan menggunakan uji lanjut DMRT taraf 5% dan untuk mengetahui keeratan hubungan antar parameter pengamatan dilakukan uji korelasi dan regresi menggunakan *Microsoft Excel 2016*.

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Lahan marginal dapat diartikan sebagai lahan yang rapuh, mudah rusak kelestariannya jika pengelolaannya tidak tepat. Ciri-ciri utama lahan marginal adalah: tingkat kesuburan tanah yang rendah. Pengelolaan lahan marginal merupakan salah satu faktor terpenting dalam mencapai fungsi lahan yang berkelanjutan. Oleh karena itu, pengelolaan lahan (tanah) harus diupayakan tanpa menyebabkan kerusakan terhadap lingkungan maupun menurunkan kualitas sumber daya lahan, dan sebaiknya diarahkan pada perbaikan struktur fisik, komposisi kimia, dan aktivitas biota tanah yang optimum bagi tanaman. Salah satu pengelolaannya dapat melakukan revegetasi atau penghijauan yaitu dengan penanaman tanaman berkayu *Pinus merkusii*. *Pinus merkusii* merupakan salah satu tanaman prioritas untuk revegetasi lahan kritis atau marginal terutama di luar pulau Jawa.

Pada kondisi tertentu ultisol merupakan salah satu jenis tanah yang banyak ditemui di lahan marginal. Ultisol merupakan salah satu jenis tanah di Indonesia yang mempunyai sebaran luas, mencapai 45.794.000 ha atau sekitar 25% dari total luas daratan Indonesia (Subagyo *et al*, 2004). Ultisol merupakan tanah yang tingkat kesuburannya rendah karena memiliki kemasaman tanah yang tinggi. Kandungan unsur hara N, P, K, Ca, Mg, S dan Mo yang rendah, serta unsur Al, Fe dan Mn yang tinggi seringkali mencapai tingkat berbahaya bagi pertumbuhan tanaman. Kandungan Al yang tinggi pada tanah Ultisol menyebabkan unsur P terikat sehingga menjadi tidak larut, yang menyebabkan unsur ini tidak tersedia bagi tanaman (Prasetyo dan Suriadikarta, 2006).

Pertumbuhan bibit *Pinus merkusii* membutuhkan simbiosis jamur ektomikoriza yang berinteraksi spesifik dengan akar *Pinus merkusii*. Akar *Pinus merkusii* yang tidak terkolonisasi ektomikoriza dapat menyebabkan pengaruh negatif pada pertumbuhan bibit *Pinus merkusii* di persemaian. Selain pentingnya keberadaan mikoriza, kegiatan pemupukan juga memiliki peran penting untuk menghasilkan bibit yang berkualitas. Menurut Setyamidjaja (1986) untuk mendapatkan pertumbuhan bibit optimal perlu diciptakan kondisi media tanah yang mendukung pertumbuhan

pembibitan, terutama dalam ketersediaan unsur hara, baik makro maupun mikro melalui kegiatan pemupukan. Pemupukan bertujuan menambah unsur-unsur hara tertentu di dalam tanah yang tidak mencukupi bagi kebutuhan tanaman, sehingga perlunya penambahan pupuk NPK yang akan menjadi penambah unsur hara untuk bibit *Pinus merkusii*.

Keberadaan mikoriza dan pemupukan memiliki keterkaitan, mikoriza dapat membantu bibit *Pinus merkusii* dalam penyerapan unsur hara terutama unsur hara P. Menurut Mahbub (1999) bahwa cendawan mikoriza ini mampu melarutkan P yang sukar larut dengan menghasilkan enzim fosfatase dan senyawa pengkkelat Al. Cendawan mikoriza juga dapat meningkatkan serapan P dikarenakan adanya hifa eksternal yang memiliki jangkauan luas yang mampu mempercepat tersedianya P sehingga akan dapat meningkatkan serapan P tanaman.

Keberhasilan dari kegiatan revegetasi di lahan marginal salah satunya yaitu kualitas bibit yang akan digunakan, sehingga menghasilkan bibit yang mampu beradaptasi di lingkungan tersebut dan menghasilkan pertumbuhan bibit yang baik ketika diaplikasikan ke lahan marginal yang akan direvegetasi. Oleh karena itu pentingnya menyiapkan kualitas bibit yang dapat bertahan pada kondisi permasalahan tanah ultisol. Menurut Hasanah *et al* (2013) menyatakan kesiapan kualitas bibit merupakan salah satu faktor yang harus diperhatikan dalam kegiatan revegetasi

Pentingnya keberadaan ektomikoriza yang dapat berinteraksi spesifik dengan akar bibit *Pinus merkusii* dan pemupukan yang sesuai. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengetahui jenis ektomikoriza yang dapat bersimbiosis dengan bibit *Pinus merkusii* dan dosis pupuk yang sesuai, sehingga dapat menghasilkan ketersediaan P pada tanah, keragaman morfotipe sebagai indikator infeksi ektomikoriza terhadap akar bibit *Pinus merkusii*, dan menunjang pertumbuhan bibit *Pinus merkusii*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang mendasari dilaksanakannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Apakah terdapat pengaruh dari perlakuan dosis pupuk dan penambahan inokulan ektomikoriza terhadap ketersediaan fosfor?
2. Apakah terdapat perbedaan karakter morfotipe akar dan persentase kolonisasi seiring dengan penambahan dosis pupuk dan inokulan ektomikoriza?
3. Apakah pertumbuhan bibit akan meningkat seiring dengan keragaman morfotipe, persentase kolonisasi, dan ketersediaan fosfor dalam tanah?

## 1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengevaluasi peran dosis pupuk NPK dan penambahan inokulan ektomikoriza terhadap ketersediaan fosfor.
2. Mengetahui pengaruh penambahan berbagai jenis inokulasi ektomikoriza dan dosis pupuk terhadap keragaman morfotipe akar dan persentase kolonisasi.
3. Mengevaluasi hubungan pertumbuhan bibit *Pinus merkusii* dengan keragaman morfotipe, persentase kolonisasi, dan ketersediaan fosfor.

## 1.4 Hipotesis

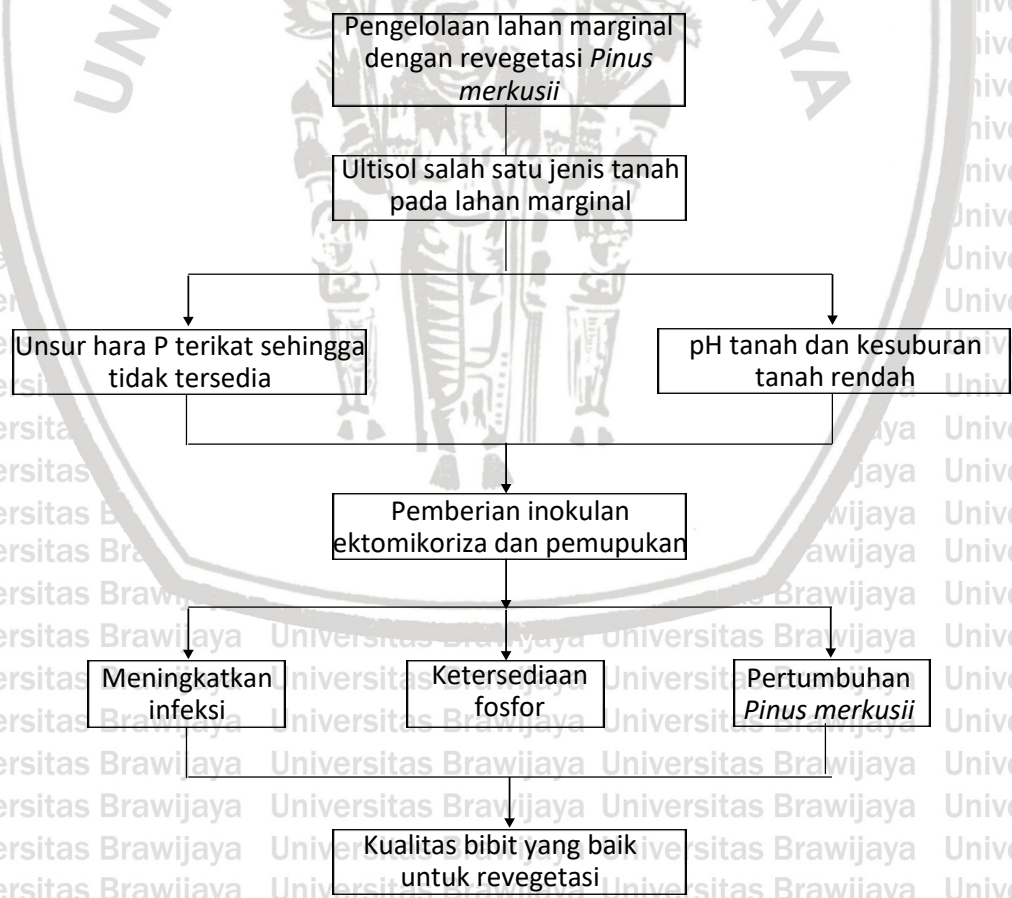
1. Penambahan pupuk NPK dan inokulan ektomikoriza meningkatkan ketersediaan fosfor.
2. Penambahan pupuk NPK dan berbagai jenis inokulan ektomikoriza meningkatkan keragaman morfotipe akar dan nilai persentase kolonisasi akar.
3. Pertumbuhan bibit *Pinus merkusii* memiliki keterkaitan dengan tingkat persentase kolonisasi akar, keragaman morfotipe, dan dosis pemupukan.

## 1.5 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai jenis inokulan yang spesifik dan dosis pemupukan yang tepat untuk membantu pertumbuhan bibit *Pinus merkusii*. Sehingga dapat menghasilkan kesiapan bibit *Pinus merkusii* yang berkualitas baik untuk dijadikan salah satu pilihan tanaman dalam kegiatan revegetasi.

### 1.6 Alur Pikir Penelitian

Pengelolaan lahan marginal merupakan hal penting untuk mendapatkan fungsi lahan yang berkelanjutan. Salah satu upaya untuk pengelolaan lahan marginal yaitu dapat dengan revegetasi menggunakan *Pinus merkusii*. Ultisol merupakan salah satu jenis utama yang banyak ditemui pada lahan marginal. Ultisol memiliki permasalahan utama ketersediaan unsur hara P rendah karena masih dalam kondisi terikat sehingga tidak dapat dimanfaatkan oleh tanaman dan pH tanah yang rendah sehingga membuat kesuburan tanah rendah. *Pinus merkusii* membutuhkan simbiosis dengan jenis ektomikoriza tertentu dan pemupukan untuk menunjang pertumbuhan. Keberadaan simbiosis ektomikoriza dan pemupukan yang sesuai kebutuhan diharapkan dapat meningkatkan infeksi pada akar, membantu ketersediaan fosfor, dan meningkatkan pertumbuhan, sehingga menghasilkan kualitas bibit *Pinus merkusii* yang baik dan mampu beradaptasi dengan lingkungan. Alur pikir penelitian terdapat pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur Pikir Penelitian



## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

1. Perlakuan dosis pupuk tertinggi 7 gr/15 kg tanah dan inokulan ektomikoriza *Suillus* + *Rhizopogon* (P2Im) memberikan ketersediaan fosfor yang tertinggi 0,012 mg/gr.
2. Hasil terbaik untuk persentase kolonisasi tertinggi 25,20% pada perlakuan inokulan *Rhizopogon* (Ir) memiliki morfotipe akar yang dominan yaitu *irregularly pinnate* dark brown.
3. Penambahan NPK tidak akan berhasil tanpa pengaruh dari perlakuan penambahan inokulan ektomikoriza untuk menghasilkan karakteristik morfotipe, persentase kolonisasi, dan ketersediaan fosfor yang memberikan pengaruh terhadap pertumbuhan bibit *Pinus merkusii*.

### 5.2 Saran

Hasil nilai dari kadar P-total tanah, ketersediaan P, dan serapan P jaringan tanaman masih terbilang sangat kecil, oleh karena itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut lagi mengenai gradien pupuk NPK yang tepat dengan waktu pengamatan lebih lama lagi sehingga diharapkan dapat mendapatkan hasil yang lebih maksimal.

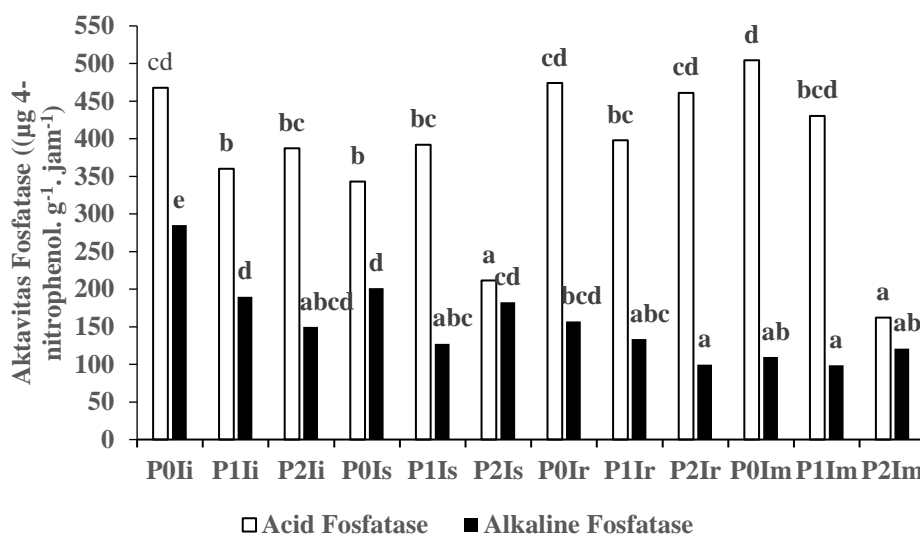


## I. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil

#### 4.1.1 Enzim Fosfatase Asam dan Basa

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa penambahan pupuk dan inokulan ektomikoriza memberikan pengaruh sangat nyata ( $P < 0,01$ ) terhadap aktivitas fosfatase asam dan basa (Lampiran 2a – 2b). Nilai aktivitas enzim fosfatase asam hasil tertinggi terdapat pada kombinasi perlakuan tanpa pupuk dan tanpa inokulan *Suillus* + *Rhizopogon* (P0Im) dengan nilai  $467,9 \mu\text{g 4-nitrophenol. g}^{-1} \cdot \text{jam}^{-1}$  dan hasil terendah pada kombinasi perlakuan dosis pupuk 7 gr/15 kg tanah dan inokulan ektomikoriza *Suillus* + *Rhizopogon* (P2Im) dengan nilai  $162,3 \mu\text{g 4-nitrophenol. g}^{-1} \cdot \text{jam}^{-1}$ . Nilai terendah pada kombinasi perlakuan ini berbeda nyata dengan semua kombinasi perlakuan lainnya kecuali pada perlakuan dosis pupuk 7 gr/15 kg tanah dan inokulan ektomikoriza *Suillus* (P2Is) yang hasilnya juga termasuk rendah dengan nilai  $211,5 \mu\text{g 4-nitrophenol. g}^{-1} \cdot \text{jam}^{-1}$  (Gambar 5).



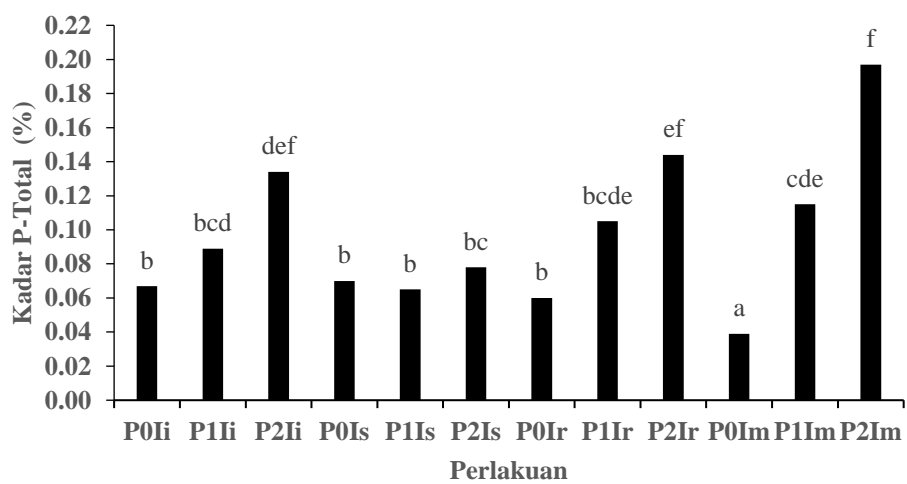
Keterangan: huruf yang sama menunjukkan tidak terdapat beda nyata antar perlakuan menurut uji Duncan 5%; P0= Tanpa Pupuk NPK; P1= Pupuk NPK 3,5 gr; P2= Pupuk NPK 7,5 gr; Ii= Inokulan indigenous (kontrol); Is= Inokulan *Suillus granulatus*; Ir= *Rhizopogon rulesceus*; Im= Inokulan *Suillus granulatus*+*Rhizopogon rulesceus*

Gambar 1. Aktivitas Enzim Fosfatase Asam dan Basa Akibat Perlakuan

Aktivitas enzim fosfatase basa tertinggi terdapat pada kombinasi perlakuan tanpa pupuk dan tanpa inokulan ektomikoriza (P0Ii) dengan nilai 285,2  $\mu\text{g}$  4-nitrophenol.  $\text{g}^{-1} \cdot \text{jam}^{-1}$  yang berbeda nyata dengan keseluruhan kombinasi perlakuan lainnya (Gambar 5), sedangkan nilai terendah terdapat pada kombinasi perlakuan dosis pupuk 3,5 gr/15 kg tanah dan inokulan ektomikoriza *Suillus* + *Rhizopogon* (P1Im) dengan nilai 98,8  $\mu\text{g}$  4-nitrophenol.  $\text{g}^{-1} \cdot \text{jam}^{-1}$ . Menurut pendapat Kumari *et al* (2017) produksi fosfatase meningkat jika ketersediaan P anorganik dalam tanah rendah.

4.1.2 Kadar P-Total Tanah

P-total merupakan akumulasi fosfor yang terlarut dan fosfor yang tidak terlarut dalam tanah, tetapi berpotensi menjadi bentuk tersedia. Penambahan perlakuan dosis pupuk dan inokulan ektomikoriza memberikan pengaruh sangat nyata ( $P < 0,01$ ) terhadap P-total dalam tanah (Lampiran 2c). P-total dalam tanah tertinggi terdapat pada kombinasi perlakuan dosis pupuk 7 gr/15 kg tanah dan inokulan ektomikoriza *Suillus* + *Rhizopogon* (P2Im) dengan nilai 0,197%. Hasil P-total tanah terendah yaitu sebesar 0,039% pada kombinasi perlakuan tanpa pupuk dan inokulan *Suillus* + *Rhizopogon* (P0Im) (Gambar 6).



Keterangan: huruf yang sama menunjukkan tidak terdapat beda nyata antar perlakuan menurut uji Duncan 5%; P0= Tanpa Pupuk NPK; P1= Pupuk NPK 3,5 gr; P2= Pupuk NPK 7,5 gr; Ii= Inokulan indigenous (kontrol); Is= Inokulan *Suillus granulatus*; Ir= *Rhizopogon rulesceus*; Im= Inokulan *Suillus granulatus*+*Rhizopogon rulesceus*

Gambar 2. Kadar P-Total Tanah Akibat Perlakuan

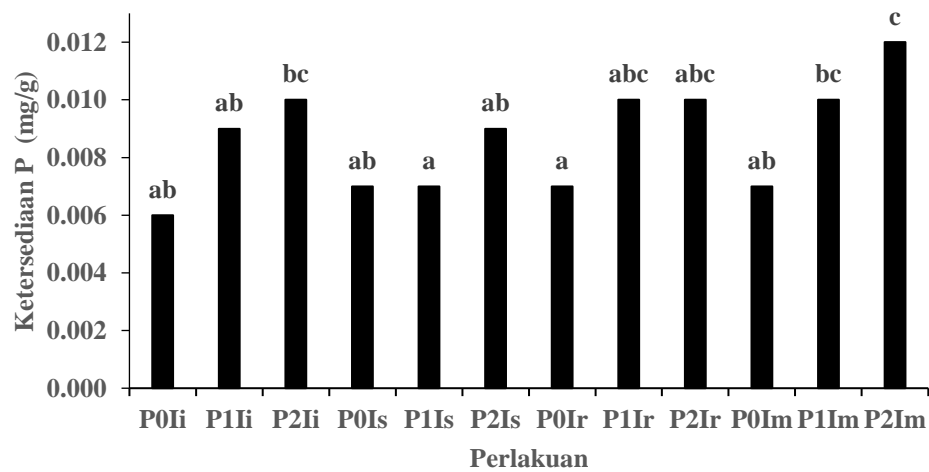


Nilai P-total pada kombinasi perlakuan dosis pupuk 7 gr/15 kg tanah dan inokulan ektomikoriza *Suillus* + *Rhizopogon* dengan (P2Im) berbeda nyata dengan hampir keseluruhan kombinasi perlakuan lainnya, kecuali pada kombinasi perlakuan dosis pupuk 7 gr/15 kg tanah dan tanpa inokulan ektomikoriza (P2Ii) dengan nilai P-total tanah 0,134% dan pada kombinasi perlakuan dosis pupuk 7 gr/15 kg tanah dan inokulan ektomikoriza *Rhizopogon* (P2Ir) sebesar 0,144% (Gambar 6).

4.1.3 Ketersediaan P Tanah

Hasil analisis ANOVA menunjukkan bahwa perlakuan yang diberikan berpengaruh nyata (<0,05) terhadap ketersediaan P di dalam tanah (Lampiran 2d).

Berdasarkan dari hasil grafik dapat dilihat bahwa nilai tertinggi terdapat pada perlakuan pemberian pupuk tertinggi (P2) untuk semua perlakuan inokulan ektomikoriza. Hasil tertinggi untuk ketersediaan P terdapat pada kombinasi perlakuan dosis pupuk 7 gr/15 kg tanah dan inokulan ektomikoriza *Suillus* + *Rhizopogon* (P2Im) dengan nilai 0,012 mg/g. Nilai P-tersedia pada kombinasi perlakuan tanpa dosis pupuk dan inokulan ektomikoriza *Rhizopogon* (P0Ir) sebesar 0,07 mg/g merupakan nilai terendah (Gambar 7).



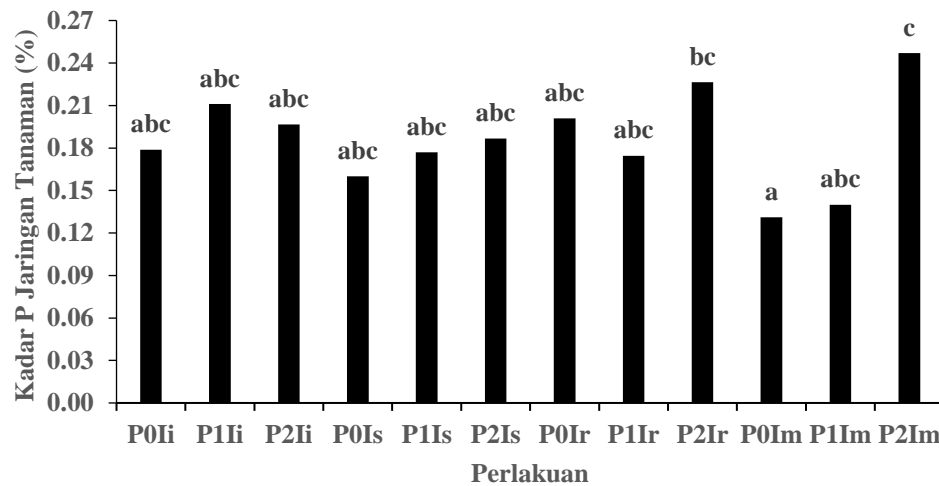
Keterangan: huruf yang sama menunjukkan tidak terdapat beda nyata antar perlakuan menurut uji Duncan 5%; P0= Tanpa Pupuk NPK; P1= Pupuk NPK 3,5 gr; P2= Pupuk NPK 7,5 gr; Ii= Inokulan indigenous (kontrol); Is= Inokulan *Suillus granulatus*; Ir= *Rhizopogon rulesceus*; Im= Inokulan *Suillus granulatus*+*Rhizopogon rulesceus*

Gambar 3. Ketersediaan P Tanah Akibat Perlakuan

Nilai ketersediaan P pada kombinasi perlakuan dosis pupuk 7 gr/15 kg tanah dan inokulan ektomikoriza *Suillus* + *Rhizopogon* (P2Im) dengan nilai 0,012 mg/g berbeda nyata dengan hampir seluruh kombinasi perlakuan lainnya (Gambar 7), kecuali pada kombinasi perlakuan P2Ii, P1Ir, P2Ir, dan P1Im dengan nilai 0,010 mg/g.

#### 4.1.4 Kadar P Jaringan Tanaman

Perlakuan dosis pupuk dan inokulan ektomikoriza memberikan pengaruh nyata ( $P < 0,05$ ) terhadap kadar P dalam jaringan tanaman (Lampiran 2e). Kadar P jaringan tanaman paling tertinggi terdapat pada kombinasi perlakuan dosis pupuk 7 gr/15 kg tanah dan inokulan ektomikoriza *Suillus* + *Rhizopogon* dengan (P2Im) nilai 0,247%. Hasil kadar P jaringan tanaman terendah yaitu sebesar 0,131% pada kombinasi perlakuan tanpa pupuk dan inokulan *Suillus* + *Rhizopogon* (P0Im) (Gambar 8).



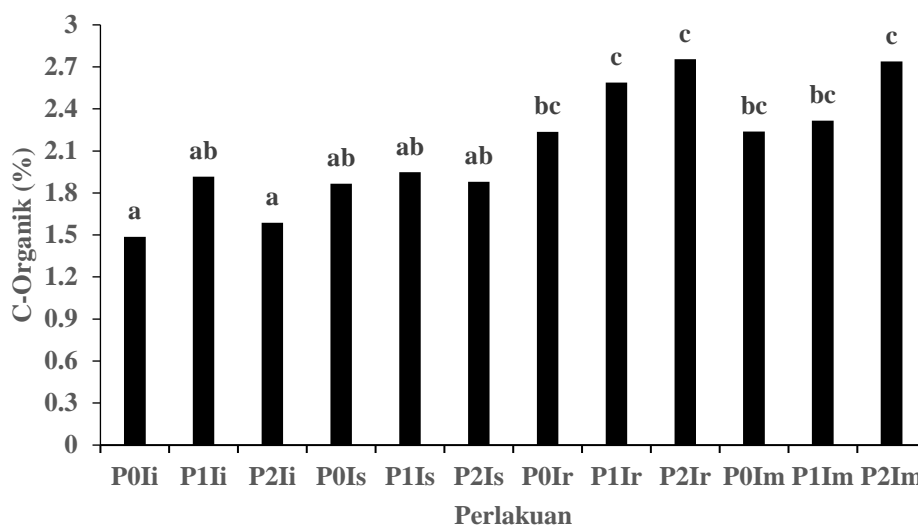
Keterangan: huruf yang sama menunjukkan tidak terdapat beda nyata antar perlakuan menurut uji Duncan 5%; P0= Tanpa Pupuk NPK; P1= Pupuk NPK 3,5 gr; P2= Pupuk NPK 7,5 gr; Ii= Inokulan indigenous (kontrol); Is= Inokulan *Suillus granulatus*; Ir= *Rhizopogon ruleseus*; Im= Inokulan *Suillus granulatus*+*Rhizopogon ruleseus*

**Gambar 4.** Kadar P Jaringan Tanaman Akibat Perlakuan

Kadar P jaringan tanaman pada kombinasi perlakuan dosis pupuk 7 gr/15 kg tanah dan inokulan ektomikoriza *Suillus* + *Rhizopogon* dengan (P2Im) berbeda nyata dengan kombinasi perlakuan tanpa pupuk dan penambahan inokulan *Suillus* + *Rhizopogon* (P0Im), namun dengan antar kombinasi perlakuan lainnya tidak menunjukkan berbeda nyata (Gambar 8).

#### 4.1.5 Kandungan C-Organik

Hasil analisis ANOVA menunjukkan bahwa perlakuan yang diberikan berpengaruh nyata ( $P < 0,05$ ) untuk C-organik yang dihasilkan (Lampiran 2f). Nilai C-organik pada tanah yang tertinggi 2,754% pada kombinasi perlakuan dosis pupuk 7 gr/15 kg tanah dan inokulan ektomikoriza *Rhizopogon* (P2Ir). Nilai C-organik terendah 1,486% pada perlakuan tanpa dosis pupuk dan tanpa inokulan ektomikoriza (P0Ii) (Gambar 9). Terdapat perbedaan nilai C-organik antara perlakuan inokulan ektomikoriza *Rhizopogon* (Ir) dan *Rhizopogon* + *Suillus* (Im), kedua perlakuan ini memiliki nilai C-organik yang signifikan nilainya dibandingkan dengan perlakuan inokulan *Suillus* (Is) dan tanpa inokulan (Ii).



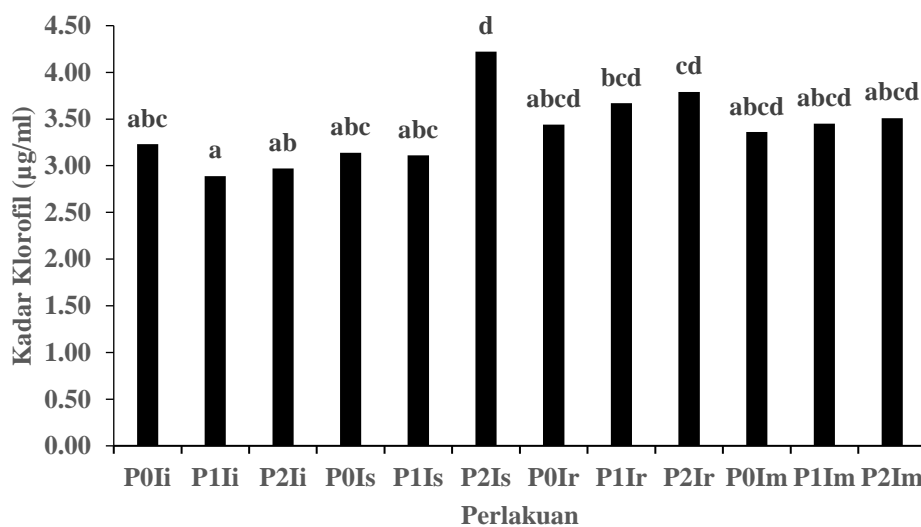
Keterangan: huruf yang sama menunjukkan tidak terdapat beda nyata antar perlakuan menurut uji Duncan 5%; P0= Tanpa Pupuk NPK; P1= Pupuk NPK 3,5 gr; P2= Pupuk NPK 7,5 gr; Ii= Inokulan indigenous (kontrol); Is= Inokulan *Suillus granulatus*; Ir= *Rhizopogon rulesceus*; Im= Inokulan *Suillus granulatus*+*Rhizopogon rulesceus*

**Gambar 5.** Kandungan C-Organik Akibat Perlakuan

Kandungan C-organik pada kombinasi perlakuan inokulan ektomikoriza *Rhizopogon* (Ir) dan penambahan inokulan *Rhizopogon* + *Suillus* (Im) dengan semua perlakuan dosis pupuk berbeda nyata dengan perlakuan tanpa inokulan ektomikoriza (Ii) dan pada inokulan ektomikoriza *Suillus* (Is) untuk semua perlakuan dosis pupuk (Gambar 9).

#### 4.1.6 Kadar Klorofil

Hasil analisis ragam menunjukkan perlakuan yang diberikan berpengaruh nyata ( $P < 0,05$ ) terhadap kadar klorofil yang dihasilkan (Lampiran 2g). Kombinasi perlakuan dosis pupuk 7 gr/15 kg tanah dan inokulan ektomikoriza *Suillus* (P2Is) memiliki kadar klorofil tertinggi 4,220  $\mu\text{g/ml}$ . Kadar klorofil terendah yaitu terdapat pada kombinasi perlakuan dosis pupuk 3,5 gr/15 kg tanah dan tanpa inokulan ektomikoriza (P1Ii) dengan nilai 2,890  $\mu\text{g/ml}$  (Gambar 10).



Keterangan: huruf yang sama menunjukkan tidak terdapat beda nyata antar perlakuan menurut uji Duncan 5%; P0= Tanpa Pupuk NPK; P1= Pupuk NPK 3,5 gr; P2= Pupuk NPK 7,5 gr; Ii= Inokulan indigenous (kontrol); Is= Inokulan *Suillus granulatus*; Ir= *Rhizopogon rulesceus*; Im= Inokulan *Suillus granulatus*+*Rhizopogon rulesceus*

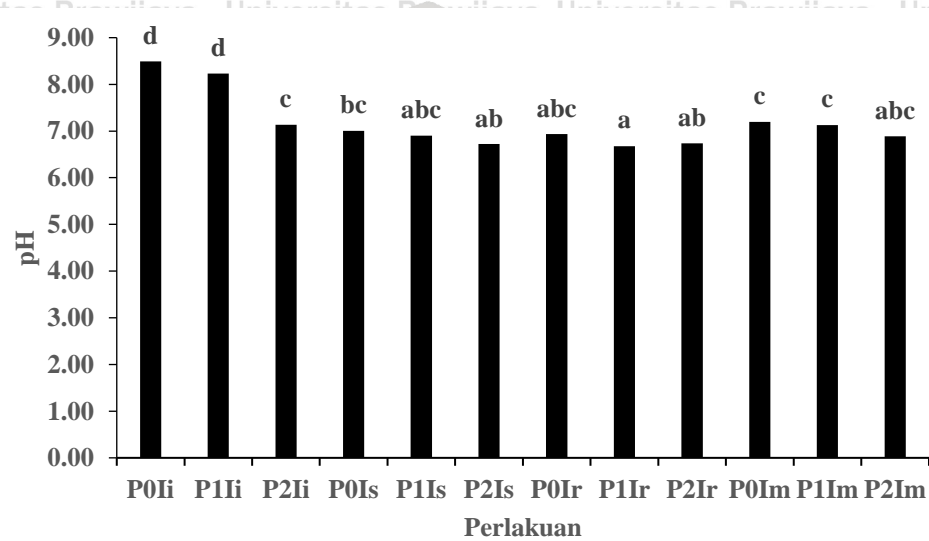
**Gambar 6.** Kadar Klorofil Akibat Perlakuan

Kadar klorofil pada kombinasi perlakuan dosis pupuk 7 gr/15 kg tanah dan inokulan ektomikoriza *Suillus* (P2Is) berbeda nyata dengan kombinasi perlakuan lainnya, kecuali pada kombinasi perlakuan P0Ii dengan nilai 3,230  $\mu\text{g/ml}$ , P1Ii dengan nilai 2,890  $\mu\text{g/ml}$ , P2Ii dengan kadar klorofil 2,970  $\mu\text{g/ml}$ , dan P0Is dengan kadar klorofil sebesar 3,140  $\mu\text{g/ml}$  (Gambar 10).



#### 4.1.7 Nilai pH Tanah

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan yang diberikan berpengaruh sangat nyata ( $P < 0,01$ ) terhadap pH tanah (Lampiran 2h). Kombinasi perlakuan tanpa pupuk dan tanpa inokulan ektomikoriza (P0Ii) memiliki nilai pH tanah tertinggi 8,49 diantara kombinasi perlakuan lainnya. Nilai terendah pH tanah yaitu terdapat pada kombinasi perlakuan dosis pupuk 3,5 gr/15 kg tanah dan inokulan ektomikoriza *Rhizopogon* (P1Ir) dengan pH tanah 6,68 (Gambar 11).



Keterangan: huruf yang sama menunjukkan tidak terdapat beda nyata antar perlakuan menurut uji Duncan 5%; P0= Tanpa Pupuk NPK; P1= Pupuk NPK 3,5 gr; P2= Pupuk NPK 7,5 gr; Ii= Inokulan indigenous (kontrol); Is= Inokulan *Suillus granulatus*; Ir= *Rhizopogon rulesceus*; Im= Inokulan *Suillus granulatus*+*Rhizopogon rulesceus*

**Gambar 7.** Nilai pH Tanah Akibat Perlakuan

Nilai pH tanah pada kombinasi perlakuan tanpa pupuk dan tanpa inokulan ektomikoriza (P0Ii) berbeda nyata dengan semua kombinasi perlakuan, kecuali pada perlakuan dosis pupuk 3,5 gr/15 kg tanah dan tanpa inokulan ektomikoriza (P1Ii) yang memiliki pH tanah 8,23 (Gambar 11). Kedua pH tanah pada kombinasi perlakuan ini sangat tinggi dibandingkan dengan pH tanah pada kombinasi perlakuan lainnya.

#### 4.1.8 Rasio Berat Kering Tajuk Akar

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan yang diberikan tidak berpengaruh nyata ( $P > 0,05$ ) terhadap rasio berat kering tajuk akar (Lampiran 2i).

Nilai rasio berat kering tajuk akar terdapat pada Tabel 5.

**Tabel 1.** Pengaruh Perlakuan Terhadap Rasio Berat Kering Tajuk Akar

No	Perlakuan	Rasio Berat Kering (tajuk/akar)
1	P0Ii	0,463
2	P1Ii	0,435
3	P2Ii	0,425
4	P0Is	0,520
5	P1Is	0,378
6	P2Is	0,415
7	P0Ir	0,388
8	P1Ir	0,473
9	P2Ir	0,553
10	P0Im	0,415
11	P1Im	0,500
12	P2Im	0,568

Keterangan: huruf yang sama menunjukkan tidak terdapat beda nyata antar perlakuan menurut uji Duncan 5%; P0= Tanpa Pupuk NPK; P1= Pupuk NPK 3,5 gr; P2= Pupuk NPK 7,5 gr; Ii= Inokulan indigenous (kontrol); Is= Inokulan *Suillus granulatus*; Ir= *Rhizopogon rulesceus*; Im= Inokulan *Suillus granulatus*+*Rhizopogon rulesceus*

Kombinasi perlakuan dosis pupuk 7 gr/15 kg tanah dan inokulan ektomikoriza *Rhizopogon* + *Suillus* (P2Im) memiliki nilai rasio berat kering tajuk akar tertinggi 0,568 diantara kombinasi perlakuan lainnya . Rasio berat kering tajuk akar terendah 0,378 yaitu terdapat pada kombinasi perlakuan dosis pupuk 3,5 gr/15 kg tanah dan inokulan ektomikoriza *Suillus* (P1Is). Nilai rasio tajuk akar pada semua kombinasi perlakuan tidak berbeda nyata.

#### 4.1.9 Relative Growth Rate (RGR) 24 MST

Hasil rerata dari nilai *relative growth rate* pada 24 MST diketahui kombinasi perlakuan yang diberikan tidak berpengaruh nyata ( $P>0.05$ ) untuk *relative growth rate* (RGR) 24 MST.

**Table 2.** Pengaruh Perlakuan Terhadap *Relative Growth Rate* (RGR) 24 MST

No	Perlakuan	RGR (g/minggu)
1	P0Ii	0,00063
2	P1Ii	0,00114
3	P2Ii	0,00123
4	P0Is	0,00122
5	P1Is	0,00097
6	P2Is	0,00087
7	P0Ir	0,00130
8	P1Ir	0,00128
9	P2Ir	0,00147
10	P0Im	0,00082
11	P1Im	0,00143
12	P2Im	0,00106

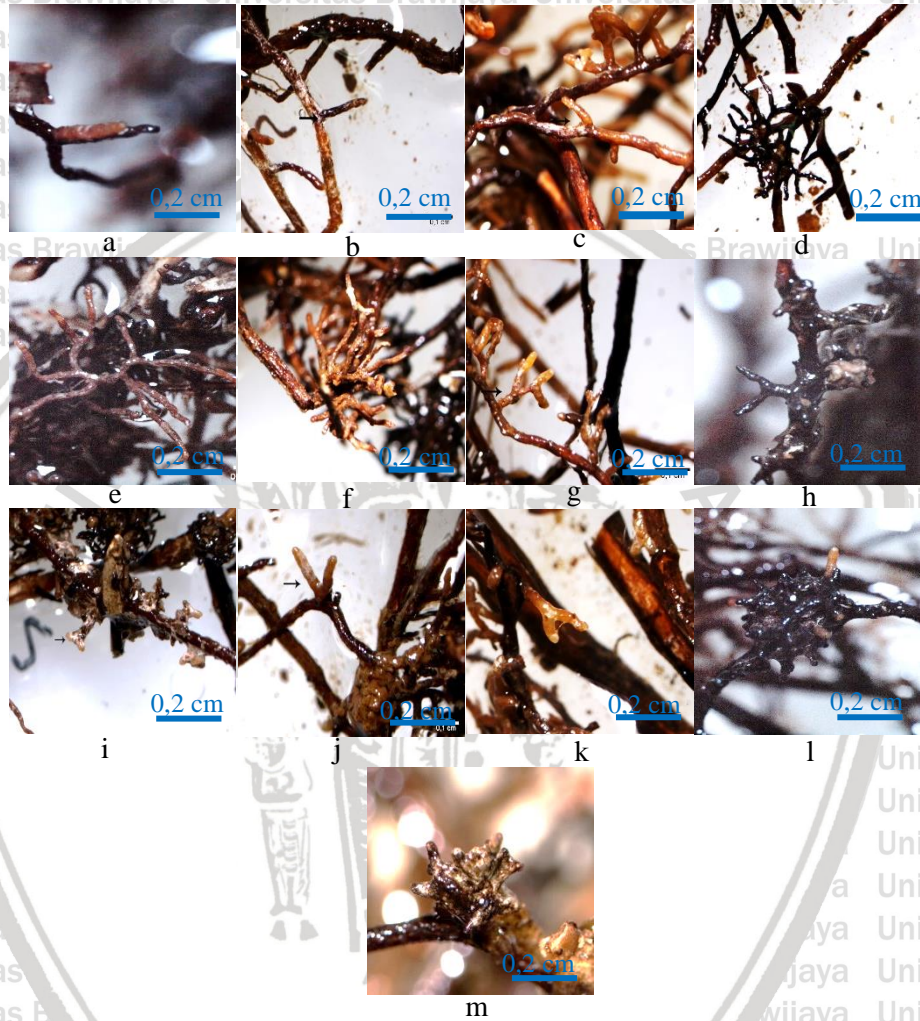
Keterangan: huruf yang sama menunjukkan tidak terdapat beda nyata antar perlakuan menurut uji Duncan 5%; P0= Tanpa Pupuk NPK; P1= Pupuk NPK 3,5 gr; P2= Pupuk NPK 7,5 gr; Ii= Inokulan indigenous (kontrol); Is= Inokulan *Suillus granulatus*; Ir= *Rhizopogon rulesceus*; Im= Inokulan *Suillus granulatus*+*Rhizopogon rulesceus*

Kombinasi perlakuan dosis pupuk 7 gr/15 kg tanah dan inokulan ektomikoriza *Rhizopogon* (P2Ir) memiliki nilai *relative growth rate* tertinggi 0,00147 diantara kombinasi perlakuan lainnya. Nilai terendah untuk *relative growth rate* 0,00063 yaitu terdapat pada kombinasi perlakuan tanpa pupuk dan tanpa penambahan inokulan ektomikoriza (P0Ii). Nilai *relative growth rate* (RGR) 24 MST pada semua kombinasi perlakuan tidak berbeda nyata.

#### 4.1.10 Keragaman Morfotipe Akar dan Persentase Kolonisasi

Karakterisasi morfotipe ektomikoriza dari 48 sampel akar *Pinus merkusii* sesuai dengan jumlah kombinasi perlakuan berdasarkan *Colour Atlas of Ectomycorrhizae* (Agerer, 1991), diperoleh 13 morfotipe yakni *irregularly pinnate brown*, *irregularly pinnate dark brown*, *irregularly pinnate light brown*, *irregularly pinnate black*, *corraloid dark brown*, *corraloid black*, *dichotomous brown*,

*dichotomous* dark brown, *dichotomous* light brown, *dichotomous* black, *unramified-simple* dark brown, *unramified-simple* light brown, dan *unramified-simple* brown (Gambar 10). Menurut Mujahidah (2014), pada bibit *Pinus merkusii* terdapat morfotipe akar 6 tipe ramifikasi yaitu *unramified-simple*, *monopodial pinnate*, *monopodial pyramidal*, *dichotomous*, *irregularly pinnate*, dan *coralloid*.



**Gambar 8.** Morfotipe Akar *Pinus merkusii* (a. *unramified-simple* light brown, b. *unramified-simple* dark brown, c. *unramified-simple* brown, d. *irregularly pinnate* black, e. *irregularly pinnate* light brown, f. *irregularly pinnate* dark brown, g. *irregularly pinnate* brown, h. *dichotomous* black, i. *dichotomous* dark brown, j. *dichotomous* brown, k. *dichotomous* light brown, l. *corralloid* black, m. *corralloid* dark brown)

Pada perlakuan tanpa inokulan ektomikoriza (Ii) terdapat ke-13 morfotipe yang ditemukan, tetapi jika dilihat berdasarkan perlakuan dosis pupuk tidak semuanya terdapat ke-13 karakteristik morfotipe tersebut. Hasil perhitungan rata-rata persentase kolonisasi berdasarkan perlakuan tanpa inokulan ektomikoriza (ii) sangat beragam (Tabel 7). Nilai rata-rata persentase kolonisasi tertinggi 12,00% terdapat pada karakteristik morfotipe *irregularly pinnate light brown* dan karakteristik morfotipe yang rata-rata persentase kolonisasinya terendah 1,07% yaitu pada *dichotomous dark brown*.

**Table 3.** Morfotipe Akar dan Persentase Kolonisasi Perlakuan Inokulan Indigenus

Morfotipe	Persentase Kolonisasi (%)			Rata-rata Persentase Kolonisasi (%)
	P0Ii	P1Ii	P2II	
<i>Irregularly pinnate brown</i>	13,69	0	0	4,56
<i>Irregularly pinnate dark brown</i>	0	10,00	5,00	5,00
<i>Irregularly pinnate light brown</i>	0	0	36,00	12,00
<i>Irregularly pinnate black</i>	0	0	10,34	3,44
<i>Corraloid dark brown</i>	11,67	0	6,73	6,13
<i>Corraloid black</i>	0	0	3,84	1,28
<i>Dichotomous brown</i>	3,83	0,21	0	1,34
<i>Dichotomous dark brown</i>	0	0,04	3,18	1,07
<i>Dichotomous light brown</i>	5,33	0,28	3,37	2,99
<i>Dichotomous black</i>	31,32	0	0	10,44
<i>Unramified-simple brown</i>	6,16	0	11,19	5,78
<i>Unramified-simple light brown</i>	0	6,14	6,00	4,04
<i>Unramified-simple dark brown</i>	0	14,72	8,75	7,82

Perlakuan inokulan ektomikoriza *Suillus* (Is) menghasilkan 11 jenis morfotipe, tetapi ke-11 karakteristik morfotipe tersebut tidak semuanya ditemukan pada perlakuan masing-masing dosis pupuk. Rata-rata persentase kolonisasi pada perlakuan inokulan ektomikoriza *Suillus* (Is) sangat beragam. Persentase kolonisasi yang tertinggi 10,38% pada morfotipe *corraoid dark brown* dan morfotipe *irregularly pinnate black* memiliki persentase kolonisasi terendah 0,74%.



**Table 4.** Morfotipe Akar dan Persentase Kolonisai Perlakuan Inokulan *Suillus*

Morfotipe	Persentase Kolonisasi (%)			Rata-rata
	P0Is	P1Is	P2Is	Persentase Kolonisasi (%)
<i>Irregularly pinnate</i> brown	7,86	12,35	0	6,73
<i>Irregularly pinnate</i> dark brown	11,63	11,76	3,38	8,92
<i>Irregularly pinnate</i> light brown	0	8,98	0	2,99
<i>Irregularly pinnate</i> black	0	2,22	0	0,74
<i>Corraloid</i> dark brown	5,05	13,50	13,50	10,38
<i>Corraloid</i> black	0	0	0	0
<i>Dichotomous</i> brown	0	14,11	0	4,70
<i>Dichotomous</i> dark brown	0	8,72	3,12	3,94
<i>Dichotomous</i> light brown	16,66	0	0	5,55
<i>Dichotomous</i> black	0	0	0	0
<i>Unramified-simple</i> brown	0	5,50	0	1,83
<i>Unramified-simple</i> light brown	21,79	0	0	7,26
<i>Unramified-simple</i> dark brown	3,09	10,00	5,27	6,12

Inokulan ektomikoriza *Rhizopogon* (Ir) dan dosis pupuk memberikan pengaruh terhadap karakteristik morfotipe yang ditemukan. Karakteristik yang ditemukan sebanyak 10 morfotipe (Tabel 9). Inokulan ektomikoriza *Rhizopogon* (Ir) menghasilkan persentase kolonisasi tertinggi dibandingkan dengan perlakuan inokulan lainnya. Persentase kolonisasi tertinggi 25,20% dengan karakteristik morfotipe *irregularly pinnate* dark brown, sedangkan nilai rata-rata yang terendah 0,18% yaitu pada karakteristik morfotipe *dichotomous* light brown.

**Tabel 5.** Morfotipe Akar dan Persentase Kolonisasi Perlakuan Inokulan *Rhizopogon*

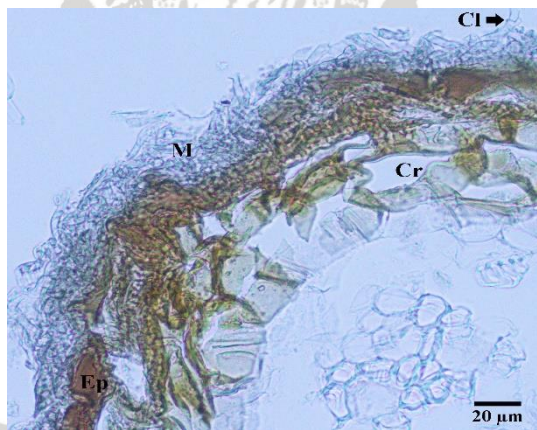
Morfotipe	Persentase Kolonisasi (%)			Rata-rata Persentase Kolonisasi (%)
	P0Ir	P1Ir	P2Ir	
<i>Irregularly pinnate</i> brown	26,57	0	0	8,85
<i>Irregularly pinnate</i> dark brown	0	37,80	37,80	25,20
<i>Irregularly pinnate</i> light brown	10,78	0	0	3,59
<i>Irregularly pinnate</i> black	0	0	0	0
<i>Corraloid</i> dark brown	0	0	0	0
<i>Corraloid</i> black	3,92	0	0	3,92
<i>Dichotomous</i> brown	2,46	1,69	1,69	1,94
<i>Dichotomous</i> dark brown	9,89	9,03	9,03	9,31
<i>Dichotomous</i> light brown	0,55	0	0	0,18
<i>Dichotomous</i> black	0	10,00	10,00	6,66
<i>Unramified-simple</i> brown	9,57	1,16	1,16	3,96
<i>Unramified-simple</i> light brown	0	0	0	0
<i>Unramified-simple</i> dark brown	0	7,28	7,28	4,85

Perlakuan inokulan ektomikoriza *Suillus* + *Rhizopogon* (Im) didapatkan karakteristik paling sedikit yaitu 9 morfotipe akar (Tabel 10) tetapi persentase kolonisasi ektomikorizanya tidak paling kecil diantara perlakuan inokulan ektomikoriza lainnya. Perhitungan persentase kolonisasi perlakuan inokulan ektomikoriza *Suillus* + *Rhizopogon* (Im) sangat beragam. Persentase kolonisasi tertinggi 18,75% pada karakteristik morfotipe *dichotomous* brown dan persentase kolonisasinya terendah 1,97% yaitu pada karakteristik morfotipe *dichotomous* black.

**Tabel 6.** Morfotipe Akar dan Persentase Kolonisasi Perlakuan Inokulan *Suillus* + *Rhizopogon*

Morfotipe	Persentase Kolonisasi (%)			Rata-rata Persentase Kolonisasi (%)
	P0Im	P1Im	P2Im	
<i>Irregularly pinnate</i> brown	17,14	11,59	7,59	12,10
<i>Irregularly pinnate</i> dark brown	7,07	8,25	5,76	7,02
<i>Irregularly pinnate</i> light brown	19,16	0	0	6,38
<i>Irregularly pinnate</i> black	0	0	0	0
<i>Corraloid</i> dark brown	0	0	0	0
<i>Corraloid</i> black	0	0	0	0
<i>Dichotomous</i> brown	38,57	7,51	10,19	18,75
<i>Dichotomous</i> dark brown	12,19	1,74	0,83	4,92
<i>Dichotomous</i> light brown	6,64	0	16,34	7,66
<i>Dichotomous</i> black	0	3,03	2,88	1,97
<i>Unramified-simple</i> brown	6,66	3,66	5,68	5,33
<i>Unramified-simple</i> light brown	0	0	0	0
<i>Unramified-simple</i> dark brown	5,88	5,55	3,01	4,81

Hasil sayatan akar root tips dilakukan pada kombinasi perlakuan pemberian inokulan ektomikoriza *Rhizopogon* (Ir) sebagai persentase kolonisasi akar tertinggi 25,20% yaitu pada karakteristik morfotipe *irregularly pinnate* dark brown.



**Gambar 9.** Sayatan akar melintang *Pinus merkusii* setelah inokulasi (M: mantel, Ep: epidermis, Cr: korteks, Cl: sambungan apit)

Karakteristik kolonisasi *root tip* tipe *irregularly pinnate* di antaranya berupa percabangan yang tidak beraturan, permukaan mantel memiliki permukaan yang kasar, dan mantel berwarna coklat tua (Gambar 12). Hifa eksternal yang muncul dari mantel berwarna coklat muda dengan memiliki sambungan apit (clamp connection) sebagai salah satu penciri utama jamur basidiomycota (Gambar 13).



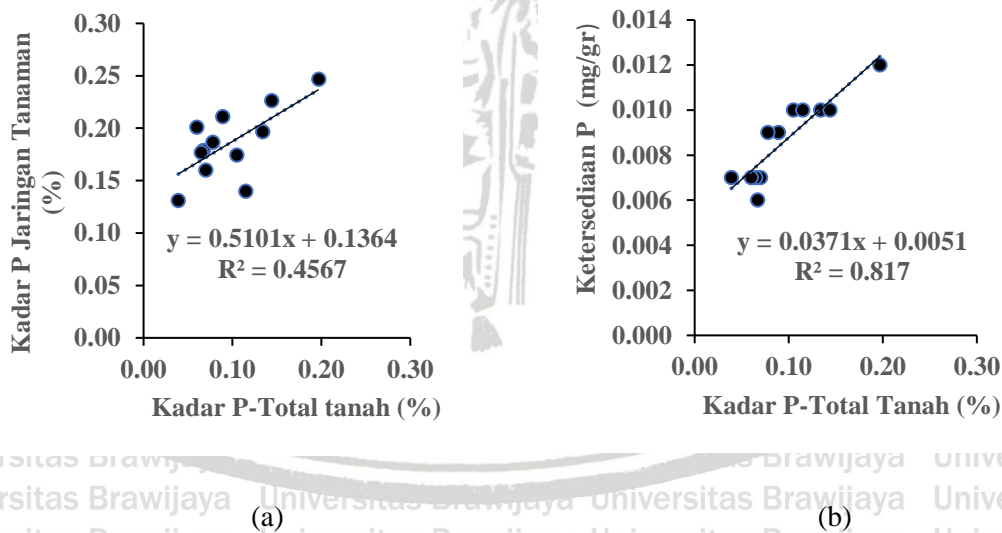
Jala Hartig terbentuk di antara sel epidermis, tetapi tidak terbentuk di antara sel korteks.

## 4.2 Pembahasan

### 4.2.1 Hubungan Kadar P-Total Tanah Terhadap Ketersediaan P dan Kadar P Jaringan Tanaman

#### Jaringan Tanaman

Perlakuan dosis pupuk NPK yang dikombinasikan dengan penambahan jenis inokulan ektomikoriza berpengaruh terhadap ketersediaan P dan kadar P jaringan tanaman. Kadar P-total tanah dengan ketersediaan P dan kadar P jaringan tanaman memiliki hubungan yang positif, hal itu dapat dilihat dari nilai korelasi yang positif 0,6952 terhadap ketersediaan P dan 0,367 terhadap kadar P jaringan tanaman. Ketersediaan P pada tanah tertinggi 0,012 mg/g didapatkan pada perlakuan dosis pupuk 7 gr/15 kg tanah dan inokulan ektomikoriza *Suillus + Rhizopogon* (P2Im), sedangkan kadar P pada jaringan tanaman tertinggi 0,247% yaitu pada perlakuan dosis pupuk 7 gr/15 kg tanah dan inokulan ektomikoriza *Suillus + Rhizopogon* (P2Im). Ketersediaan P dan kadar P pada jaringan tanaman dipengaruhi oleh kadar P-total tanah (Gambar 13)



**Gambar 10.** Hubungan P-Total Tanah Terhadap (a. Serapan P Jaringan Tanaman, b. Ketersediaan P)

Hasil regresi untuk ketersediaan P yang dipengaruhi oleh kadar P-total tanah menunjukkan persamaan  $y = 0,0371x + 0,0051$  dengan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) = 0,817 yang artinya kadar P-total tanah mempengaruhi ketersediaan P sebesar 81,7% dan hanya 18,3% yang dipengaruhi oleh faktor lain. Setiap penambahan 1%

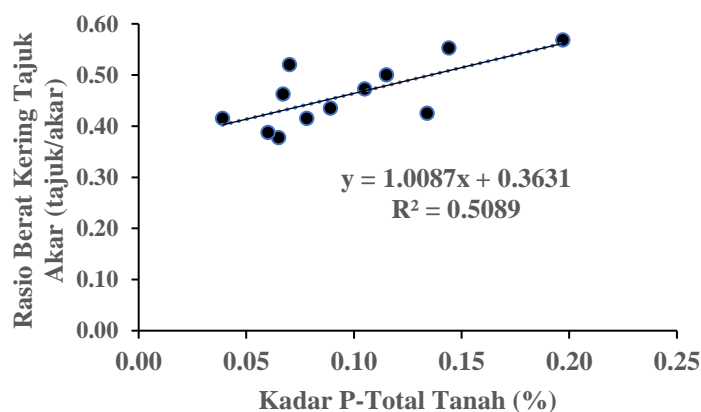
kadar P-total tanah maka akan meningkatkan ketersediaan P sebesar 0,037 mg/gr. Hal ini dikarenakan peningkatan kandungan ketersediaan P disebabkan oleh pengaruh langsung dari pupuk fosfor, karena pemupukan fosfor meningkatkan kadar ketersediaan P dalam tanah atau melalui mekanisme pelepasan fosfor dari kompleks adsorpsi (Kaya, 2012).

Berdasarkan uji regresi untuk kadar P jaringan tanaman yang dipengaruhi oleh P-total tanah menunjukkan persamaan  $y = 0,5101x + 0,1364$  dengan nilai  $R^2 = 0,4567$  yang artinya P-total tanah mempengaruhi kadar P jaringan tanaman sebesar 45.67% dan 54.3% yang dipengaruhi oleh faktor lain. Artinya setiap penambahan 1% P-total tanah maka akan meningkatkan kadar P sebesar 0.510%.

Tanaman akan mudah menyerap unsur hara dan memenuhi kebutuhannya apabila ketersediaannya dalam tanah tinggi begitupun sebaliknya Menurut Saraswati dan Husein (2008) menyatakan bahwa semakin tinggi kandungan unsur hara dalam tanah maka akan berbanding lurus dengan kadar hara jaringan tanaman yang tumbuh di atasnya.

#### 4.2.2 Hubungan Kadar P-total Tanah Terhadap Rasio Berat Kering Tajuk Akar

Hasil uji korelasi menunjukkan bahwa hubungan antara Kadar P-total tanah dengan rasio berat kering tajuk akar bernilai positif yaitu sebesar 0.3823, dimana setiap peningkatan dari kadar P-total tanah akan meningkatkan rasio berat kering tajuk akar.

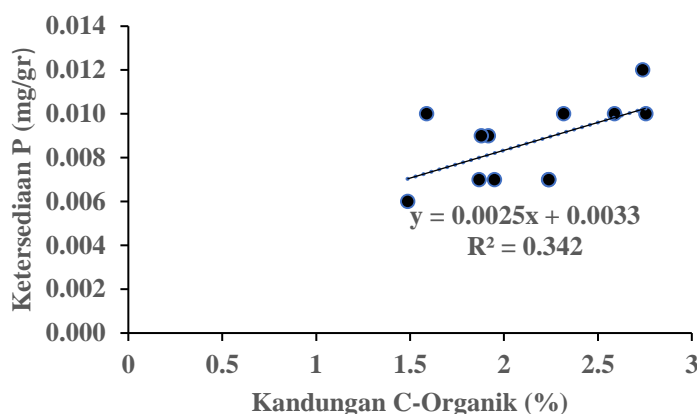


Gambar 11. Hubungan Kadar P-Total Tanah Terhadap Rasio Berat Kering Tajuk Akar

Rasio berat kering tajuk akar tertinggi 0,568 tajuk/akar didapatkan pada perlakuan dosis pupuk 7 gr/15 kg tanah dan inokulan ektomikoriza *Suillus* + *Rhizopogon* dengan (P2Im). Rasio berat kering tajuk akar dipengaruhi oleh kadar P-total dalam tanah (Gambar 14), hasil regresi menunjukkan persamaan  $y = 1,0087x + 0,3631$  dengan nilai  $R^2 = 0,5089$  yang artinya kadar P-total tanah mempengaruhi rasio berat kering tajuk akar sebesar 50,89% dan hanya 49,11% yang dipengaruhi oleh faktor lain. Setiap penambahan 1% kadar P-total tanah maka akan meningkatkan rasio berat kering tajuk akar sebesar 1,0087. Nilai rasio berat kering berhubungan dengan status hara yang diserap oleh tanaman, serapan hara yang diserapan oleh tanaman tergantung oleh ketersediaan unsur hara pada tanah. Menurut Soeharsono dan Supriadi (2005) hara yang diserap tanaman yang dimanfaatkan untuk berbagai proses metabolisme adalah untuk menjaga fungsi fisiologis tanaman. Gejala fisiologis sebagai efek pemupukan diantaranya dapat diamati melalui parameter tanaman, yaitu salah satunya bobot kering. Bobot kering merupakan ukuran pertumbuhan dan perkembangan tanaman karena berat kering mencerminkan akumulasi senyawa organik yang berhasil disintesis oleh tanaman. Berat kering tanaman mencerminkan status nutrisi suatu tanaman dan juga merupakan indikator yang menentukan baik tidaknya suatu pertumbuhan dan perkembangan tanaman sehingga erat kaitannya dengan ketersediaan hara.

#### 4.2.3 Hubungan Kandungan C-Organik Terhadap Ketersediaan P

Perlakuan yang telah diberikan berpengaruh terhadap ketersediaan P. Ketersediaan P tertinggi 0,012 mg/g terdapat pada kombinasi perlakuan dosis pupuk 7 gr/15 kg tanah dan inokulan ektomikoriza *Suillus* + *Rhizopogon* (P2Im). Nilai korelasi antara kandungan C-organik dengan ketersediaan P bernilai positif yaitu sebesar 0,3569 dimana ketika kandungan C-organik pada tanah mengalami peningkatan maka akan berbanding lurus dengan ketersediaan yang mengalami peningkatan.

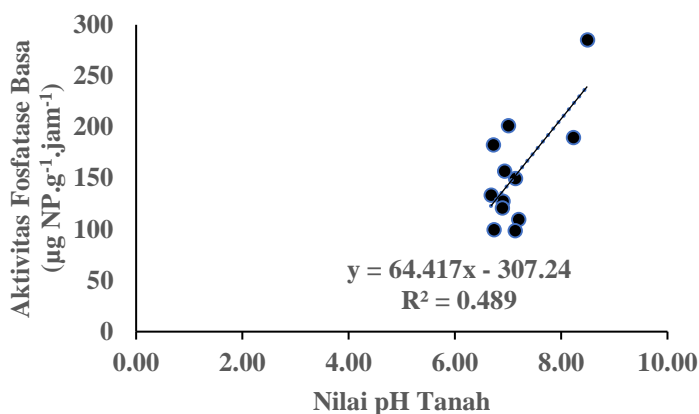


**Gambar 12.** Hubungan Kandungan C-Organik Terhadap Ketersediaan P

Hasil regresi untuk ketersediaan P yang dipengaruhi oleh kandungan C-organik menunjukkan persamaan  $y = 0,0025x + 0,0033$  dengan nilai  $R^2 = 0,342$  yang artinya kandungan C-organik mempengaruhi ketersediaan sebesar 34,2% dan 65,8% yang dipengaruhi oleh faktor lain (Gambar 16). Artinya setiap penambahan 1% kandungan C-organik maka akan meningkatkan ketersediaan P sebesar 0,0025 mg/gr. Hasil tersebut menunjukkan adanya korelasi yang positif antara kandungan C-organik tanah dan ketersediaan P. Pengaruh bahan organik terhadap ketersediaan P dapat secara langsung melalui proses mineralisasi atau secara tidak langsung dengan membantu pelepasan P yang terfiksasi. Hasil dekomposisi bahan organik yang berupa asam-asam organik dapat membentuk ikatan khelasi dengan ion-ion Al dan Fe sehingga dapat menurunkan kelarutan ion Al dan Fe, maka dengan begitu ketersediaan P menjadi meningkat. Asam-asam organik yang dihasilkan dari dekomposisi bahan organik juga dapat melepaskan P yang terjerap sehingga ketersediaan P meningkat (Nurhayati *et al*, 1986).

#### 4.2.4 Hubungan Nilai pH Tanah Terhadap Aktivitas Fosfatase Basa

Aktivitas fosfatase basa tertinggi 285,2  $\mu\text{g}$  4-nitrophenol.  $\text{g}^{-1}$ .  $\text{jam}^{-1}$  didapatkan pada perlakuan tanpa pupuk dan tanpa inokulan ektomikoriza (POIi). Nilai korelasi antara pH tanah dengan aktivitas fosfatase alkaline bernilai positif yaitu sebesar 0,5709 dimana ketika pH pada tanah mengalami peningkatan maka akan berbanding lurus dengan peningkatan enzim fosfatase basa.



**Gambar 13.** Hubungan Nilai pH Tanah Terhadap Aktivitas Fosfatase Basa

Hasil uji regresi nilai pH tanah terhadap aktivitas fosfatase basa menunjukkan persamaan  $y = 64,417x - 307,24$  dengan nilai  $R^2 = 0,489$  yang artinya nilai pH tanah mempengaruhi aktivitas fosfatase basa sebesar 48,9% dan 51,1% dipengaruhi faktor lain (Gambar 17). Hasil ini berarti setiap penambahan 1% nilai pH tanah maka akan meningkatkan aktivitas fosfatase basa sebesar  $64,4 \mu\text{g 4-nitrophenol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{jam}^{-1}$ . Enzim fosfatase bertanggung jawab pada proses hidrolisis P organik menjadi fosfat anorganik ( $\text{H}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{HPO}_4$ ) yang tersedia bagi tanaman. (Lal, 2002). Pendapat tersebut juga sesuai dengan Margalef *et al* (2017) yang menyatakan semakin tinggi aktivitas enzim fosfatase maka semakin tinggi ketersediaan P yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan aktivitas enzim fosfatase berperan mendasar dalam transformasi P-organik menjadi P-tersedia bagi tanaman.

#### 4.2.5 Kadar Klorofil Tanaman

Pada hasil kadar klorofil pada tanaman, nilai tertinggi  $4,220 \mu\text{g/ml}$  didapat pada perlakuan dosis pupuk 7 gram dan inokulan ektomikoriza *Suillus* (P2Is). Hal ini diduga karena pengaruh ketersediaan P di dalam tanah yang mempengaruhi kadar klorofil pada tanaman. Berdasarkan pernyataan Islami dan Utomo (1994) ketersediaan fosfor akan meningkatkan laju fotosintesis dan pertumbuhan akar. Akar tanaman yang dipupuk dengan unsur fosfor mempunyai aktivitas auksin yang berfungsi mempercepat pertumbuhan akar sehingga akan membantu unsur hara nitrogen dalam menyusun klorofil. Terdapat interaksi positif antara ketersediaan N di tanah dan ketersediaan P didalam tanah. Ketersediaan P di tanah akan mempengaruhi serapan tanaman terhadap N yang mana memiliki fungsi untuk

meningkatkan pertumbuhan dan perkembangan akar sehingga mampu menyerap P lebih efektif (Homer, 2008).

Pemberian inokulan ektomikoriza *Suillus* ternyata dapat membantu aktivitas nitrogenase yang dapat membantu ketersediaan N pada tanah. Dimana ketersediaan N tersebut mempengaruhi kadar klorofil tanaman. Menurut hasil penelitian Li *et al* (1992) aktivitas nitrogenase yang diukur dari *Suillus tomentosus* cukup besar dibandingkan dengan nilai aktivitas nitrogenase yang diukur dari *Rhizopogon vinicolor* dengan nilai rata-rata aktivitas nitrogenasenya  $5696,7 \text{ nmol C}_2\text{H}_4 \text{ g}^{-1} \text{ TEM } 24 \text{ h}^{-1}$ . Oleh karena itu, hasil kadar klorofil yang didapatkan pada penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya bahwa memang inokulan *Suillus* lebih baik untuk membantu meningkatkan kadar klorofil pada tanaman karena kemampuannya membantu dalam aktivitas nitrogenase.

#### 4.2.6 Pengaruh Penambahan Perlakuan Terhadap Persentase Kolonisasi

Cendawan ektomikoriza penggunaannya sangat terbatas, yaitu hanya dapat ditemukan dan digunakan pada tanaman keras, seperti pada tanaman kehutanan tertentu. Menurut Setiadi (1998) penggunaan inokulum ektomikoriza diperlukan sekali untuk memperoleh pertumbuhan bibit pinus yang baik setelah ditanam di lahan-lahan kritis. Cendawan ektomikoriza mudah dikenali tanpa melalui pewarnaan, yaitu dengan melalui pengamatan morfotipe akar yang terkolonisasi hifa ektomikoriza.

Hasil dari penelitian didapatkan bahwa penambahan inokulan *Suillus granulatus* dan *Rhizopogon rulesceus* dapat menginfeksi bibit *Pinus merkusii*. setiap perlakuan penambahan jenis inokulan mempunyai keragaman morfotipe dan persentase kolonisasi yang berbeda-beda. Pada perlakuan tanpa penambahan inokulan ektomikoriza (indigenous) morfotipe akar yang dominan yaitu *irregularly pinnate light brown* dengan presentase kolonisasi 12,00%, perlakuan pemberian inokulan *Suillus* memiliki persentase kolonisasi 10,38% dengan morfotipe dominanya *corraoid dark brown*, pemberian inokulan *Rhizopogon* memiliki morfotipe dominan *irregularly pinnate dark brown* dengan persentase kolonisasi 25,20%, dan pada perlakuan pemberian inokulan campuran antara *Suillus* dan *Rhizopogon* memiliki morfotipe akar yang dominan *dichotomous brown* dengan persentase kolonisasi 18,75%.

Pemberian jenis inokulan *Suillus granulatus* dan *Rhizopogon rulesceus* ternyata mampu menginfeksi bersimbiosis dengan akar bibit *Pinus merkusii*. Menurut Smith dan Read (2008) *Suillus* dan *Rhizopogon* adalah cendawan yang berasosiasi spesifik dengan *Pinus merkusii*. Pada tingkat infeksi akar oleh ektomikoriza yang paling efektif yaitu inokulan *Rhizopogon*, hal ini dapat dilihat dari persentase kolonisasi tertinggi terdapat pada perlakuan penambahan jenis inokulan ektomikoriza *Rhizopogon*. Hasil ini sejalan dengan hasil penelitian Rincon (1998) yaitu pada isolat *Rhizopogon rulesceus* adalah yang paling efektif karena dapat menghasilkan persentase kolonisasi mikoriza 63-89%.



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

## DAFTAR PUSTAKA

- Agerer, R. 1991. Characterization of Ectomycorrhiza. Techniques for The Study of Mycorrhiza. Methods Microbiology. London (GB): Academic Pr. hlm 25–73.
- Aspila, K.I., Agemian, H., and Chau, A.S.Y. 1976. A Semi-automated for the Determination of Inorganic, Organic, and Total Phosphate In Sediments. J. Analyst. Vol. 101, 187-197.
- Bayman, P., Mosquera-Espinosa, A.T., Saladini-Aponte, C.M., Hurtado-Guevara, N.C., and Viera-Ruiz, N.L. 2016. Age-dependent Mycorrhizal Specificity in an Invasive Orchid, *Oeceoclades maculata*. American Journal of Botany **103**(11):1880–1889.
- Chakravarty, P. and Hwano, S.F. 1991. Effect of an Ectomycorrhizal Fungus, *Laccaria laccata*, on *Fusarium* Damping-off in *Pinus Banksiana* Seedlings. Eur. J. For. Path., 21: 97-106.
- Claassens, S., Riedel, K.J., Rensburg, L.V., Morgenthal, T.L., and Rensburg, P.J.V. 2005. Oil Microbial Properties in Coal Mine Tailings Under Rehabilitation. Applied Ecology and Environmental Research 4(1), 75-83.
- Darwo dan Sugiarti. 2008. Pengaruh Dosis Serbuk Spora Cendawan *Scleroderma citrinum* Persoon dan Komposisi Media Terhadap Pertumbuhan Tusam di Persemaian. J. Penelitian Hutan dan Konservasi Alam, 5(5),461-472.
- Fiske, C. H., and Subbarow, Y. 1925. The Colorimetric Determination of Phosphorus. J. biol. Chem, 66(2), 375-400.
- Grubisha, L., Trappe, J.M., Molina, R., Spatafora, J.W. 2001. Biology of The Ectomycorrhizal Genus, *Rhizopogon*. V. Phylogenetic Relationships Within The Boletales: Evidence From Nuclear LSU rDNA Sequences. Mycologia 93:81–88.
- Gu, Y., Zhang, X., Tu, S., and Lindstrom, K. 2009. Soil Microbial Biomass, Crop Yields, and Bacterial Community Structure as Effected By Long-term Fertilizer Treatments Under Wheat-rice Cropping. European Journal of Soil Biology. 45: 239-246.
- Halis, H., Murni, P., dan Fitria, A.B. 2008. Pengaruh Jenis dan Dosis Cendawan Mikoriza Arbuskular Terhadap Pertumbuhan Cabai (*Capsicum annum* L.) Pada Tanah Ultisol. J. Biospecies, volume 2 : 59-62.
- Hardjowigeno, S. 2003. Klasifikasi Tanah dan Pedogenesis. Jakarta : Akademika Pressindo. 250 hal.
- Hasanah, I., Wasis, N., B dan Mansur, I. 2013. Pengembangan *Desmodium* spp Sebagai Tanaman Penutup Tanah Dalam Reklamasi Lahan Pasca Tambang. J. Silvikultur Tropika Vol. 1, No. 5.
- Hibbett, D.S., Luz, B.G., and Michael, J.D. 2000. Evolutionary Instability of Ectomycorrhizal Symbioses in *Basidiomycetes*. J. Nature. 407: 506-507.



- Homer, E.R. 2008. The Effect of Nitrogen Application Timing On Plant Available Phosphorus. Thesis. Graduate School of The Ohio State University. USA.
- Islami, T., dan Utomo, W. H. 1994. Hubungan Tanah, Air dan Tanaman. Buku IKIP Semarang Press. Semarang. 297 p.
- Kaya, E. 2012. Pengaruh Pupuk Kalium dan Fosfat Terhadap Ketersediaan dan Serapan Fosfat Tanaman Kacang Tanah. J. Agrologia. Vol. 1, No. 2. Oktober 2012. Hal. 113-118.
- Kumari, J.A., Rao, P.C., Padmaja, G., and Madhavi, M. 2017. Effect of Physicochemical Properties On Soil Enzyme Acid Phosphatase Activity of Some Soils In Vegetable Growing Soils of Ranga Reddy District of Telangana State, India. Int.J. Curr. Microbiol. App. Sci. 6(10): 3496-3503.
- Lal, L. 2002. Phosphate Biofertilizers. Agrotech. Publ. Academy, Udaipur. India. 224p.
- Li, C.Y., Massicotte, H.B., and Moore, L.V.H. 1992. Nitrogen Fixing *Bacillus* sp. Associated With Douglas-fir Tuberculate Ectomycorrhizae. Plant and Soil 140: 35-40.
- Lingga, P. dan Marsono. 2008. Petunjuk Penggunaan Pupuk. Penebar Swadaya. Jakarta.
- MacKinney, G. 1941. Absorption of Light By Chlorophyll Solutions. J.Biol. Chem. 140:315-322.
- Mahbub, I.A. 1999. Pengaruh Mikoriza dan Kapur Super Fosfat Terhadap Ketersediaan P Tanah, Serapan P Tanaman dan Hasil Jagung Pada Ultisol. J. Agronomi, volume 8 : 121-124.
- Margalef, O., Sardans, J., Fernandez-Martinez, M., Molowny-Horas, R., Janssens, A., Ciais, P., Richter, A., Goll, D., Obersteiner, M., Asensio, D., and Penuelas, J. 2017. Global Patterns of Phosphatase Activity In Natural Soils. Scientific Reports 7 :1-36. Article number: 1337.
- Molina, R. 1980. Ectomycorrhizal Inoculation of Containerized Western Conifer Seedlings. U.S.D.A.,For. Serv., Res. Note PNW-357.
- Mujahidah, S. 2014. Isolasi Cendawan Ektomikoriza Pada *pinus merkusii* di Hutan Penelitian Gunung Dahu, Bogor. Skripsi. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Noor, M. dan Abdurachman. 2014. Pengaruh Pemberian Inokulum Spora *Scleroderma Verrucosum* Terhadap Pertumbuhan Bibit *Shorea* spp. di Rumah Kaca. J. Penelitian Dipterokarps. 8 (2): 89 - 96.
- Nurhayati, Nyakpa, M.Y., Lubis, A.M., Nugroho, S.S., Saul, M.R., Diaha, M.A., Go, B.H., and Bailey, H.H. 1986. Dasar-Dasar Ilmu Tanah. Badan Kerja Sama Ilmu Tanah. BKS-PTN/USAID (University of Kentucky) W. U. A. E. Hal.144- 145.

- Pirngadi, K. dan Abdulrachman, S. 2005. Pengaruh Pupuk Majemuk NPK (15:15:15) Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Padi Sawah. *J. Agrivigor*, 4 (3): 188- 19.
- Prasetyo, B. H. dan Suriadikarta, D.A. 2006. Karakteristik, Potensi, dan Teknologi Pengelolaan Tanah Ultisol Untuk Pengembangan Pertanian Lahan Kering di Indonesia. *J. Litbang Pertanian*. Bogor
- Rahmansyah, M. 2004. Acid and Alkaline Phosphomonoesterase Activities In Compost Enriched Soil. *Journal of Tropical Soil* 18, 163-169.
- Rincon, A., Isabel, F.A., and Joan, P. 1998. Ectomycorrhizal Fungi of *Pinus pinea* L. In Northeastern Spain. *Mycorrhiza*. Vol.8 . Hal. 271-276.
- Rios, J.M. 2011. *Boleto granulado [Suillus granulatus, (L.) Roussel (1796)]*. Familia *Suillaceae*, Orden Agaricales. IANIGLA Argentina. <https://www.researchgate.net/publication/264757845>.
- Rosmarkam, A. dan Yuwono, N.W. 2002. Ilmu Kesuburan Tanah. Kanisius, Yogyakarta.
- Saraswati, R. dan Husen, E. 2008. Prospek Penggunaan Pupuk Hayati Pada Lahan Sawah Buka Baru. *Balittanah*. Vol 2:151-170.
- Sarief, S. 1989. Kesuburan dan Pemupukan Tanah Pertanian. Pustaka Buana. Bandung.
- Senwo, Z., Ranatunga, D., Tazisong, I., and Taylor, R. 2007. Phosphatase Activity of Ultisois and Relationship to Soil Fertility Indices. *Journal of Food Agriculture and Environment* 5, 262-266.
- Setiadi, Y. 1998. Prospek Pengembangan Mikoriza Untuk Rehabilitasi Lahan Kritis. Makalah Pelatihan Alih Teknologi Mikoriza di Pusat Pengembangan Jati, Cepu. Perum Perhutani.
- Setyamidjaja. 1986. Pupuk dan Pemupukan. CV Simpex bitkan. Jakarta.
- Smith, S.E. and Dickson, S. 1991. Quantification of Active Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Infection Using Image Analysis and Other Techniques. *Aust J Plant Physiol*. 18:637 648.doi:10.1071/PP9910637.
- Smith, S.E., and Read, D.J. 2008. *Mycorrhizal Symbiosis*. Book. Elsevier. Amsterdam. 803 Halaman.
- Subagyo, H., Suharta, N., dan Siswanto, A.B. 2004. Sumber Daya Lahan Indonesia dan Pengelolaannya. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Bogor.
- Sujana, I.P., dan Pura, S.L.N. 2015. Pengelolaan Tanah Ultisol Dengan Pemberian Pembenh Organik Biochar Menuju Pertanian Berkelanjutan. *J. Agrimeta*. Vol. 05 (09): 01-69.

Supriadi dan Soeharsono. 2005. Kombinasi Pupuk Urea Dengan Pupuk Organik Pada Tanah Inceptisol Terhadap Respon Fisiologis Rumput Hermada (*Sorghum Bicolor*). Balai Pengkajian Teknologi Pertanian. Yogyakarta.

Syamsiyah, J., Bambang, H. S., Eko, H., dan Jaka, W. 2012. Pengaruh Inokulasi Jamur Mikoriza Arbuskula Terhadap Glomalin, Pertumbuhan dan Hasil Padi. J. Fakultas Pertanian. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.

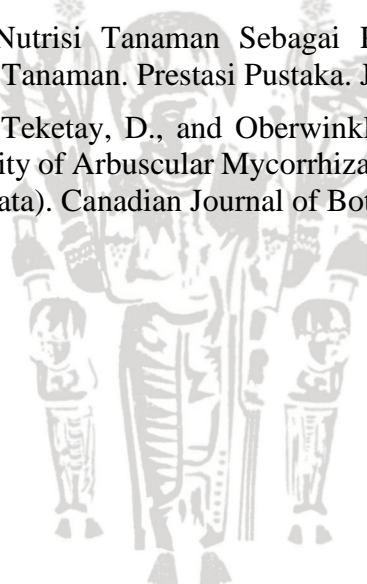
Tabatabai, M.A. and Bremner, J.M. 1969. Use of p-Nitrophenyl Phosphate Assay of Soil Phosphatase Activity Soil. J. Biol. Biochem. 1: 301-307.

Tedersoo, L., Suvil, T., Jairus, T., Ostonen, I., and Polme, S. 2009. Revisiting Ectomycorrhizal Fungi of The Genus *Alnus*: Differential Host Specificity, Diversity and Determinants of The Fungal Community. J. New Phytol. 182:727–735.

Voiblet, C., Sebastien, D., Nathalie, E., and Francis, M. 2001. Identification of Symbiosis Regulated Genes In *Eucalyptus globulus-Pisolithus tinctorius* Ectomycorrhiza By Differential Hybridization of Arrayed cDNA. Plant J. 25(2): 181-191.

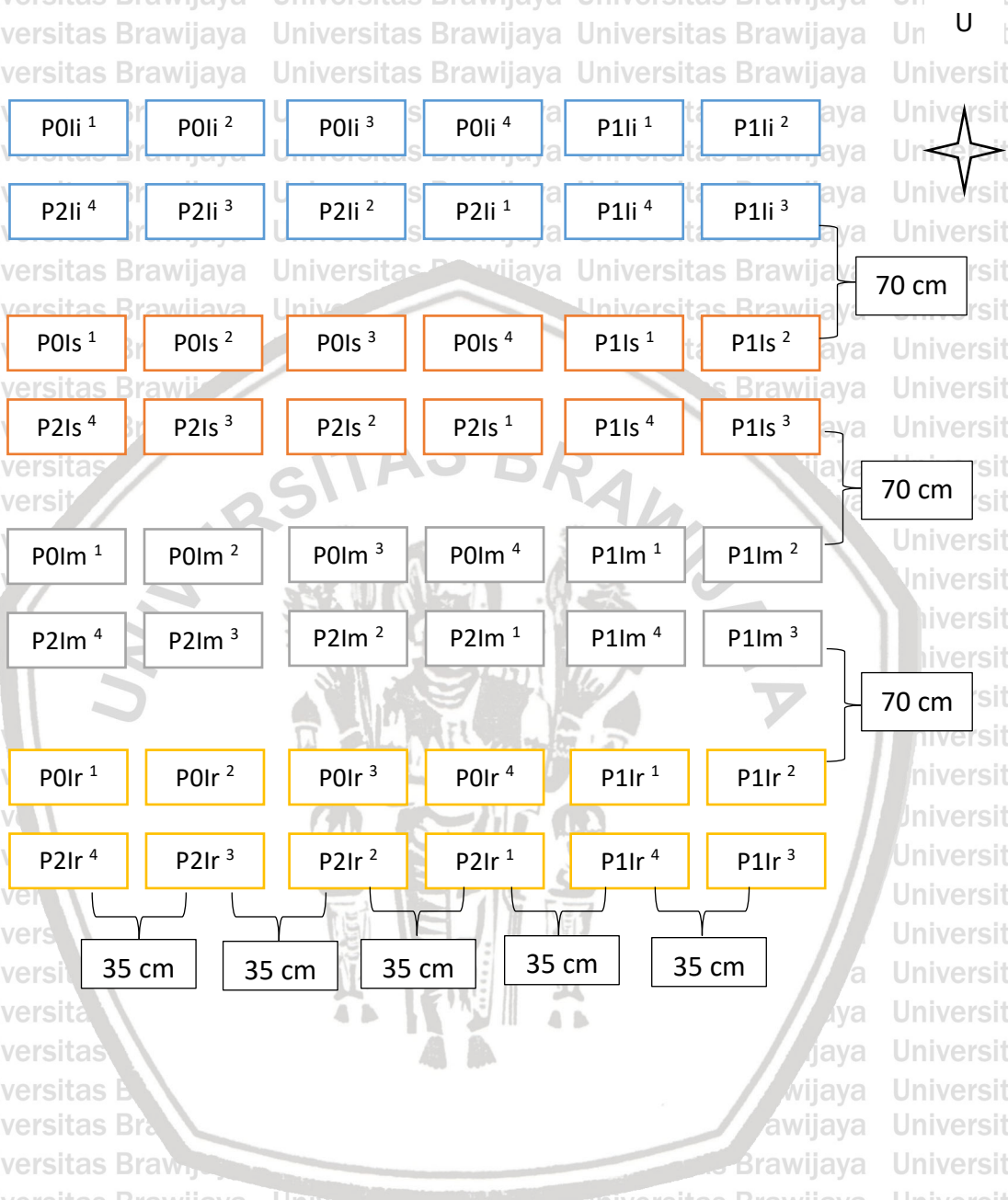
Wijaya, K.A. 2008. Nutrisi Tanaman Sebagai Penentu Kualitas Hasil dan Resistensi Alami Tanaman. Prestasi Pustaka. Jakarta.

Wubet, T., Kottke, I., Teketay, D., and Oberwinkler, F. 2003. Morphology and Molecular Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi In Wild and Cultivated Yew (*Taxus baccata*). Canadian Journal of Botany 81: 255-26.



# LAMPIRAN

## Lampiran 1. Denah Penelitian



**Lampiran 2. Hasil ANOVA****a. Enzim Fosfatase Asam**

Sumber Keragaman	db	JK	KT	Fhit	F5%
Dosis Pupuk	3	109138	36379	12.3	<0.001**
Inokulan Mikoriza	2	164556	82278	27.81	<0.001**
Pxl	6	202555	33759	11.41	<0.001**
Galat	36	106491	2958		
Total	47	582740			
Cv		14.2%			

Keterangan: <sup>tn</sup>=tidak berpengaruh nyata; \*=berpengaruh nyata; \*\*=berpengaruh sangat nyata

**b. Enzim fosfatase basa**

Sumber Keragaman	db	JK	KT	Fhit	F5%
Dosis Pupuk	3	68802	22934	19.02	<0.001**
Inokulan Mikoriza	2	27133	13566	21.25	<0.001**
Pxl	6	31070	5178	4.29	0.002*
Galat	36	43404	1206		
Total	47	170408			
Cv		22.5%			

Keterangan: <sup>tn</sup>=tidak berpengaruh nyata; \*=berpengaruh nyata; \*\*=berpengaruh sangat nyata

**c. P-total tanah**

Sumber Keragaman	db	JK	KT	Fhit	F5%
Dosis Pupuk	3	0.15187	0.05062	3.05	0.041*
Inokulan Mikoriza	2	0.98385	0.49192	29.66	<0.001**
Pxl	6	0.54613	0.09102	5.49	<0.001**
Galat	36	0.59698	0.01658		
Total	47	2.27883			
Cv		12.1%			

Keterangan: <sup>tn</sup>=tidak berpengaruh nyata; \*=berpengaruh nyata; \*\*=berpengaruh sangat nyata

**d. P-tersedia**

Sumber Keragaman	db	JK	KT	Fhit	F5%
Dosis Pupuk	3	0.080537	0.026846	2.93	0.047*
Inokulan Mikoriza	2	0.193618	0.096809	10.55	<0.001**
Pxl	6	0.050533	0.008422	0.92	0.494 <sup>tn</sup>
Galat	36	0.330318	0.009176		
Total	47	0.655006			
Cv		4.6%			

Keterangan: <sup>tn</sup>=tidak berpengaruh nyata; \*=berpengaruh nyata; \*\*=berpengaruh sangat nyata

e. Serapan P jaringan tanaman

Sumber Keragaman	db	JK	KT	Fhit	F5%
Dosis Pupuk	3	0.007237	0.002412	0.86	0.470 <sup>tn</sup>
Inokulan Mikoriza	2	0.019825	0.009913	3.54	0.040*
Pxl	6	0.022278	0.003713	1.33	0.271 <sup>tn</sup>
Galat	36	0.100846	0.002801		
Total	47	0.150187			
Cv		28.5%			

Keterangan: <sup>tn</sup>=tidak berpengaruh nyata; \*=berpengaruh nyata; \*\*=berpengaruh sangat nyata

f. C-organik

Sumber Keragaman	db	JK	KT	Fhit	F5%
Dosis Pupuk	3	6.2334	2.0778	13.51	<0.001**
Inokulan Mikoriza	2	0.7351	0.3675	2.39	0.106 <sup>tn</sup>
Pxl	6	0.8246	0.1374	0.89	0.510 <sup>tn</sup>
Galat	36	5.5355	0.1538		
Total	47	13.3287			
Cv		18.4%			

Keterangan: <sup>tn</sup>=tidak berpengaruh nyata; \*=berpengaruh nyata; \*\*=berpengaruh sangat nyata

g. Kadar klorofil

Sumber Keragaman	db	JK	KT	Fhit	F5%
Dosis Pupuk	3	0.039373	0.013124	3.9	0.016*
Inokulan Mikoriza	2	0.015908	0.007954	2.36	0.109 <sup>tn</sup>
Pxl	6	0.035386	0.005898	1.75	0.137 <sup>tn</sup>
Galat	36	0.121207	0.003367		
Total	47	0.211873			
Cv		11%			

Keterangan: <sup>tn</sup>=tidak berpengaruh nyata; \*=berpengaruh nyata; \*\*=berpengaruh sangat nyata

h. pH tanah

Sumber Keragaman	db	JK	KT	Fhit	F5%
Dosis Pupuk	3	10.30791	3.43597	92.96	<0.001**
Inokulan Mikoriza	2	2.40062	1.20031	32.48	<0.001**
Pxl	6	2.2556	0.37593	10.17	<0.001**
Galat	36	1.33058	0.03696		
Total	47	16.2947			
Cv		2.7%			

Keterangan: <sup>tn</sup>=tidak berpengaruh nyata; \*=berpengaruh nyata; \*\*=berpengaruh sangat nyata

i. *Relative Growth Rate* (RGR) 24 MST

Sumber Keragaman	db	JK	KT	Fhit	F5%
Dosis Pupuk	3	9.47E-07	3.16E-07	1.64	0.196 <sup>tn</sup>
Inokulan Mikoriza	2	3.96E-07	1.98E-07	1.03	0.367 <sup>tn</sup>
Pxl	6	1.54E-06	2.57E-07	1.34	0.267 <sup>tn</sup>
Galat	36	6.91E-06	1.92E-07		
Total	47	9.80E-06			
Cv		14.2%			

Keterangan: <sup>tn</sup>=tidak berpengaruh nyata; \*=berpengaruh nyata; \*\*=berpengaruh sangat nyata



Rasio berat kering tajuk akar

Sumber Keragaman	db	JK	KT	Fhit	F5%
Inokulan Mikoriza	3	0.01970	0.00985	0.89	0.421 <sup>tn</sup>
Dosis Pupuk	2	0.02091	0.00697	0.63	0.604 <sup>tn</sup>
MXP	6	0.10489	0.01748	1.58	0.183 <sup>tn</sup>
Galat	36	0.39954	0.01110		
Total	47	0.54503			
Cv		30.2%			

Keterangan: <sup>tn</sup>=tidak berpengaruh nyata; \*=berpengaruh nyata; \*\*=berpengaruh sangat nyata



**Lampiran 3. Tabel Korelasi Hubungan Antara Variabel Pengamatan**

	Rasio berat kering	C-organik	Enzim fosfatase asam	Enzim fosfatase basa	Kadar klorofil	P-Tersedia	P-jaringan tanaman	P-total tanah	Relative growth rate (RGR)	pH tanah
Rasio berat kering tajuk akar	1									
C-organik	0.04	1								
Enzim fosfatase asam	-0.1304	0.0277	1							
Enzim fosfatase basa	0.019	-0.5044	-0.0292	1						
Kadar klorofil	0.0934	0.1989	-0.174	-0.2676	1					
P-tersedia	0.1598	0.3569	-0.2815	-0.2136	0.1374	1				
P-total jaringan tanaman	0.0917	0.0167	-0.1867	-0.0896	0.0921	0.3219	1			
P-total tanah	0.3823	0.3532	-0.3843	-0.2152	0.0585	0.6952	0.367	1		
Relative Growth Rate 24 MST	0.1278	0.1193	0.0672	-0.3027	0.0117	0.0664	0.1154	0.1312	1	
pH tanah	-0.0038	-0.4082	0.2348	0.5709	-0.3363	-0.2016	-0.0572	-0.2531	-0.1808	1

Keterangan: 0 = tidak ada korelasi; 0.00-0.25 = korelasi lemah; 0.25-0.55 = korelasi sedang; 0.55-0.75 = korelasi kuat; 0.755-0.99 = korelasi sangat kuat; 1 = korelasi sempurna (Suwarno, 2006)

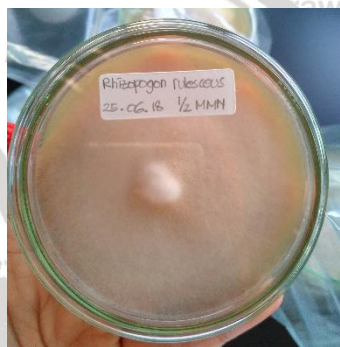


**Lampiran 4. Dokumentasi Penelitian**

**1. Penanaman Bibit *Pinus merkusii***



**2. Isolat Ektomikoriza *Suillus granulatus* dan *Rhizopogon rulesceus***



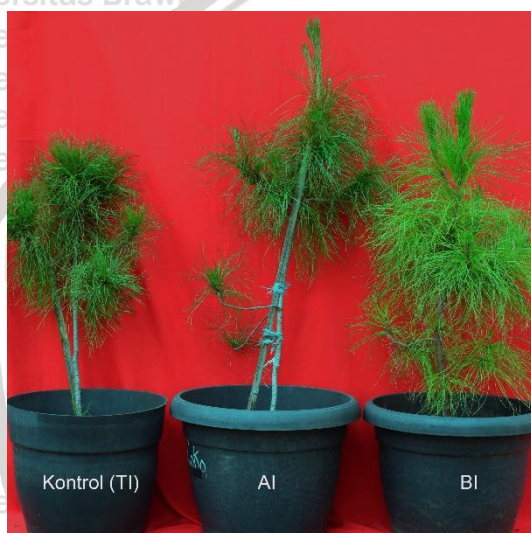
**3. Pengaplikasian Inokulan Ektomikoriza Pada Bibit *Pinus merkusii***



#### 4. Analisa Morfotipe Ektomikoriza



#### 5. Pengamatan Tinggi Tanaman 24 MST



6. Pengovenan Sampel



7. Pemanasan Sampel Dengan Oven



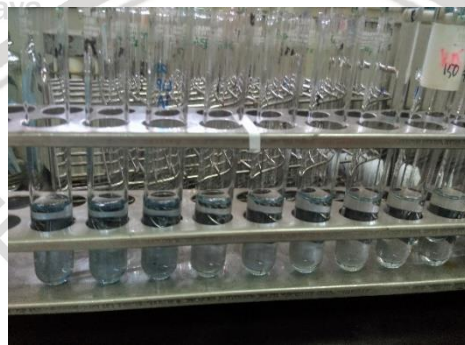
8. Penghomogenan Larutan Dengan Shaker



9. Pemisahan Larutan Dengan Sentrifuge



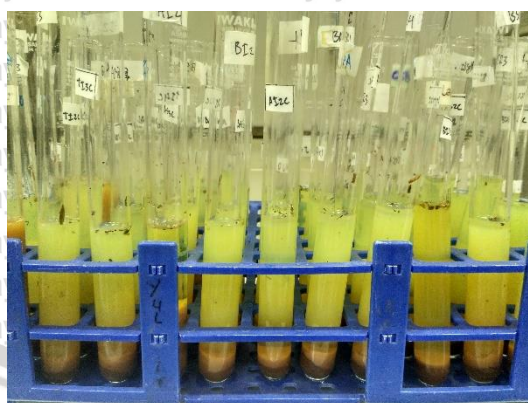
10. Larutan Sampel Setelah Diberi Reagen Warna



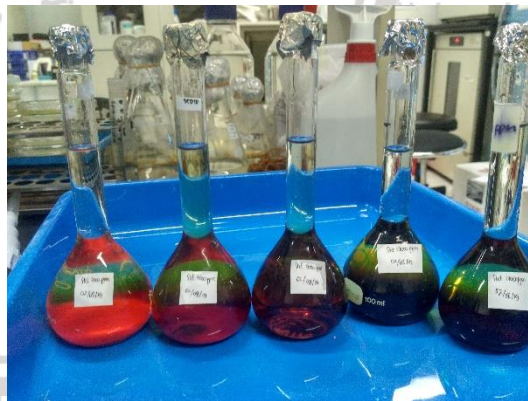
11. Pengukuran Absorbansi Dengan Spektrofotometer UV-VIS



### 12. Analisa Enzim Fosfatase



### 13. Analisa C-Organik



14. Analisa pH



15. Analisa Klorofil



Sample	1	2	3	4	5	6
A	1.118	2.110	3.108	4.106	5.104	6.102
B	1.218	2.210	3.208	4.206	5.204	6.202
C	1.318	2.310	3.308	4.306	5.304	6.302
D	1.418	2.410	3.408	4.406	5.404	6.402
E	1.518	2.510	3.508	4.506	5.504	6.502
F	1.618	2.610	3.608	4.606	5.604	6.602
G	1.718	2.710	3.708	4.706	5.704	6.702
H	1.818	2.810	3.808	4.806	5.804	6.802
I	1.918	2.910	3.908	4.906	5.904	6.902
J	2.018	3.010	4.008	5.006	6.004	7.002
K	2.118	3.110	4.108	5.106	6.104	7.102
L	2.218	3.210	4.208	5.206	6.204	7.202
M	2.318	3.310	4.308	5.306	6.304	7.302
N	2.418	3.410	4.408	5.406	6.404	7.402
O	2.518	3.510	4.508	5.506	6.504	7.502
P	2.618	3.610	4.608	5.606	6.604	7.602
Q	2.718	3.710	4.708	5.706	6.704	7.702
R	2.818	3.810	4.808	5.806	6.804	7.802
S	2.918	3.910	4.908	5.906	6.904	7.902
T	3.018	4.010	5.008	6.006	7.004	8.002
U	3.118	4.110	5.108	6.106	7.104	8.102
V	3.218	4.210	5.208	6.206	7.204	8.202
W	3.318	4.310	5.308	6.306	7.304	8.302
X	3.418	4.410	5.408	6.406	7.404	8.402
Y	3.518	4.510	5.508	6.506	7.504	8.502
Z	3.618	4.610	5.608	6.606	7.604	8.602

