

LAPORAN TUGAS AKHIR
EFEKTIVITAS BIOFUNGISIDA BERBAHAN AKTIF *Trichoderma*
***harzianum* TERHADAP PENYAKIT JAP (*Rigidoporus microporus*)**
TANAMAN KARET SECARA *IN VITRO*



Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Terapan
Pada Politeknik LPP

Disusun oleh:
BIMAS SATRIO SIREGAR
NIM. 1905087

PROGRAM SARJANA TERAPAN
PROGRAM STUDI PENGELOLAAN PERKEBUNAN
POLITEKNIK LPP
YOGYAKARTA
2023

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Tugas Akhir : Efektivitas Biofungisida Berbahan Aktif *Trichoderma harzianum* Terhadap Penyakit JAP (*Rigidoporus microporus*) Tanaman Karet Secara *In Vitro*

Nama : Bimas Satrio Siregar

NIM : 19.05.087

Program Studi : D4-Pengelolaan Perkebunan

Disetujui : Yogyakarta, 8 Agustus 2023

Dosen Pembimbing



Hartini, S.P., M.Sc
NIDN. 0516097901

Dosen Penguji



Rina Ekawati, S.P., M.Si
NIDN. 0514108702

Diketahui

Ketua Program Studi



Hartmi, S.P., M.Sc
NIDN. 0516097901

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Bimas Satrio Siregar
NIM : 1905087
Program Studi : D4 – Pengelolaan Perkebunan
Judul Tugas Akhir : Efektivitas Biofungisida Berbahan Aktif *Trichoderma harzianum* Terhadap Penyakit JAP (*Rigidoporus microporus*) Tanaman Karet Secara *In Vitro*.

Dengan ini menyatakan bahwa hasil penelitian tugas akhir yang telah saya buat ini merupakan hasil karya dan benar keasliannya. Apabila ternyata di kemudian hari dalam penulisan Laporan Tugas Akhir ini terdapat Tindakan plagiarisme terhadap karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggungjawabkan sekaligus bersedia menerima sanksi berdasarkan aturan dan tata tertib yang berlaku di Politeknik LPP Yogyakarta.

Demikian lembar pernyataan ini saya buat tanpa adanya unsur paksaan oleh pihak mana pun.

Penulis



Bimas Satrio Siregar

ABSTRAK

Salah satu penyakit yang banyak menyerang pada tanaman karet yaitu jamur akar putih (JAP) yang disebabkan oleh serangan *Rigidoporus microporus*. Serangan jamur akar putih menurunkan 3 – 15 % produksi serta menimbulkan kematian pada tanaman karet setelah 6 bulan – 1 tahun tanaman terserang. Pengendalian penyakit JAP pada tanaman karet biasanya dikendalikan dengan menggunakan fungisida berbahan sintetik dengan cara menyiramkan pada perakaran tanaman yang terserang. Namun, pengendalian cara ini umumnya tidak ekonomis dan penggunaan dalam jangka panjang dapat mengakibatkan permasalahan terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Penelitian ini bertujuan untuk menciptakan produk pengendalian alternatif dengan memanfaatkan agensia pengendali hayati (APH) berupa *Trichoderma harzianum* yang memiliki kemampuan antagonisme terhadap jamur akar putih dengan mengetahui potensi dan dosis yang tepat pada tingkat serangan yang berbeda. Penelitian ini dilakukan secara *in vitro* dengan menggunakan metode Rancangan Acak Lengkap (RAL) Faktorial dengan 2 faktor yaitu konsentrasi larutan biofungisida berbahan aktif *T. harzianum* dan variasi total bulatan koloni isolat *Rigidoporus microporus*. Adapun parameter penelitian meliputi identifikasi jenis mikroba, kerapatan konidia, viabilitas spora dan uji antagonisme dengan difusi cakram, data yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan ANOVA (*One Way Anova*) dan diuji lanjut dengan menggunakan DMRT pada taraf signifikansi 5%. Dari hasil penelitian menunjukkan jika kerapatan konidia pada berbagai konsentrasi berada pada kisaran 10^6 – 10^8 Konidia/mL dan tidak berbeda secara nyata pada pengamatan 0 – 45 hari masa penyimpanan biofungisida. Selanjutnya hasil pengujian viabilitas spora menunjukkan larutan konsentrasi 40% biofungisida memiliki nilai viabilitas tertinggi yaitu sebesar 74,5%. Kemudian, dilakukan uji antagonisme dengan melihat diameter zona hambat larutan terhadap isolat *R. microporus* yang menunjukkan perlakuan T3VI memiliki diameter zona hambat terbaik dalam menghambat pertumbuhan *R. microporus*.

Kata kunci: antagonisme, difusi cakram, fungisida alami, *R. microporus*, *T. harzianum*

ABSTRACT

One of the many diseases that attack rubber plants is white root fungus (JAP), caused by Rigidoporus microporus. White root fungus attacks reduce 3–15% of production and cause death in rubber plants after 6 months–1 year of infected plants. Control of JAP disease in rubber plants is usually controlled by using synthetic fungicide and sprinkling it on the affected plant roots. However, this control method is generally not economical, and long-term use can cause problems for the environment and human health. This study aims to create alternative control products by utilizing biological control agents (APH) in the form of Trichoderma harzianum, which has the ability to antagonize white root fungus by knowing the potency and the right dose at different levels of attack. This research was conducted in vitro using a completely randomized design (CRD) factorial with 2 factors, namely the concentration of the biofungicide solution with the active ingredient T. harzianum and the total variation of colony spheres of Rigidoporus microporus isolates. The research parameters included identification of microbial species, conidia density, spore viability, and antagonism testing by disc diffusion. The data obtained were then analyzed using ANOVA (one-way ANOVA) and further tested using DMRT at a significance level of 5%. The results showed that the density of conidia at various concentrations was in the range of 106–108 conidia/mL and did not differ significantly from observations of 0–45 days of biofungicide storage. Furthermore, the results of the spore viability test showed that a 40% biofungicide concentration solution had the highest viability value of 74.5%. Then, an antagonism test was carried out by looking at the diameter of the solution inhibition zone on R. microporus isolates, which showed that the T3VI treatment had the best inhibition zone diameter in inhibiting the growth of R. microporus.

Keywords: *biofungicide, R. microporus, T. harzianum, antagonism, disc diffusion*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta hidayah-nya sehingga penulis bisa menyelesaikan penulisan Laporan Tugas Akhir (TA) yang berjudul “Efektivitas Biofungisida Berbahan Aktif *T. harzianum* Terhadap Penyakit JAP (*Rigidoporus microporus*) Tanaman Karet Secara *In Vitro*.”

Penulisan Laporan Tugas Akhir (TA) ini disusun berdasarkan kegiatan penelitian yang dilakukan penulis selama kurang lebih 5 bulan. Dalam pelaksanaan penelitian ini, penulis menggunakan beberapa referensi terkait yang dapat mendukung tujuan penelitian. Dalam hal ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih yang tak terhingga kepada pihak-pihak yang membantu dalam proses penelitian yang dilakukan serta pihak yang membantu penulis dalam menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini, khususnya kepada:

1. Bapak Ir. M. Mustangin, S.T., M.Eng., IPM Selaku Direktur Politeknik LPP Yogyakarta.
2. Ibu Hartini, S.P., M.Sc Selaku Ketua Program Studi Pengelolaan Perkebunan Diploma IV dan Dosen Pembimbing Tugas Akhir
3. Ibu Rina Ekawati, S.P., M.Si Selaku Penguji Tugas Akhir yang telah memberikan masukan terhadap Tugas Akhir (TA) penulis.
4. Ibu Dr. Anna Kusumawati, S.P., M.Sc Selaku ketua penelitian kolaborasi PT. Perkebunan Nusantara VIII yang memberikan kesempatan kepada penulis dalam melaksanakan penelitian terkait.
5. Seluruh Pihak PT. Perkebunan Nusantara VIII, Khususnya Bagian Tanaman yang telah memberikan dukungan moril maupun materil dalam kelancaran pelaksanaan penelitian.
6. Segenap Bapak/ibu Dosen dan Karyawan Politeknik LPP Yogyakarta yang memberi bimbingan dan bantuan.
7. Kepada Kedua Orang Penulis, Bapak Sahman Siregar (Ayah) dan Ibu Mulyanti (Mama) serta Keluarga, atas doa baik dan dukungan yang selalu penulis dapatkan.

8. Teman – teman seperjuangan (Alfima, Dila, Marsha, Andika, Viky, Fauzi, Yogi, Farrel, Denny dan Seluruh Teman yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu atas kontribusi, masukan dan dukungan kepada penulis selama pelaksanaan penelitian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan Tugas Akhir (TA) ini masih banyak kekurangan untuk itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak.

Yogyakarta, 22 Mei 2023

Penulis

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Bimas Satrio Siregar', with several horizontal lines drawn underneath for emphasis.

Bimas Satrio Siregar

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN	i
LEMBAR PERNYATAAN	ii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian.....	3
D. Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
A. Produktivitas Tanaman Karet (<i>Hevea brasiliensis</i>)	4
B. Penyakit Jamur Akar Putih (<i>Rigidoporus microporus</i>).....	5
C. Agensia Pengendali Hayati <i>T. harzianum</i> sebagai Biofungisida Alami	7
BAB III METODE PENELITIAN	10
A. Waktu dan Tempat Penelitian	10
B. Alat dan Bahan Penelitian	10
C. Pelaksanaan	11
1. Rancangan Percobaan.....	11
2. Tahapan Penelitian	12
3. Analisis Data	16
D. Jadwal Pelaksanaan Penelitian	17
E. Layout Penelitian.....	18
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	19
A. Hasil dan Pembahasan.....	19

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	33
A. Kesimpulan.....	33
B. Saran.....	33
DAFTAR PUSTAKA	34
LAMPIRAN.....	39

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Satuan Petak Percobaan (<i>Experimental Plot</i>).....	12
Tabel 2. <i>Timeline</i> Penelitian	17
Tabel 3. Uji kerapatan konidia jamur <i>T. harzianum</i> pada berbagai masa penyimpanan.....	22
Tabel 4. Hasil uji kandungan unsur dalam biofungisida.	24
Tabel 5. Penggolongan viabilitas spora.	25
Tabel 6. Hasil rerata pengujian viabilitas jamur <i>T. harzianum</i>	26
Tabel 7. Penggolongan Diameter Zona Hambat Terhadap Respon Hambatan Pertumbuhan.....	28
Tabel 8. Uji Antagonis Diameter Zona Hambat <i>T. harzianum</i> terhadap <i>R. microporus</i>	28

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Karakteristik Penyakit JAP : (A) miselium JAP tampak atas, (B) miselium JAP tampak bawah, (C) Hifa, (D) Generatif Hifa.....	6
Gambar 2.	Peletakan kertas cakram inokulum antagonis <i>T. harzianum</i>	16
Gambar 3.	Zona hambat jamur antagonisme <i>T. harzianum</i>	16
Gambar 4.	Layout penelitian	18
Gambar 5.	Identifikasi Morfologi Jamur <i>T. harzianum</i> dan <i>R. microporus</i> yang terdiri atas a) basidiospora, b) hifa, c) konidifor, d) konidia.	20
Gambar 6.	Kotak Hitung Alat Hemasitometer	42
Gambar 7.	Kerapatan konidia jamur <i>T. harzianum</i> menggunakan hemasitometer	45
Gambar 8.	Sampel uji viabilitas spora.....	45

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Hasil analisis ANOVA data kerapatan konidia jamur <i>T. harzianum</i> pada variasi masa simpan yang berbeda.....	39
Lampiran 2.	Hasil analisis ANOVA uji viabilitas spora jamur <i>T. harzianum</i> ...	40
Lampiran 3.	Hasil analisis ANOVA uji anatagonis jamur <i>T. harzianum</i> terhadap jamur <i>R. microporus</i> pengamatan hari ke 7, 14, 21.....	41
Lampiran 4.	Mekanisme contoh perhitungan kerapatan konidia jamur <i>T. harzianum</i>	42
Lampiran 5.	Mekanisme contoh perhitungan viabilitas konidia jamur <i>T. harzianum</i>	43
Lampiran 6.	Mekanisme contoh perhitungan diameter zona hambat jamur <i>T. harzianum</i> terhadap <i>R. microporus</i>	44
Lampiran 7.	Dokumentasi Hasil Pengamatan kerapatan konidia dan contoh sampel.....	45
Lampiran 8.	Dokumentasi pengamatan zona hambat biofungisida <i>T. harzianum</i> terhadap jamur <i>R. microporus</i> secara in vitro	46

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Tanaman karet (*Hevea brasiliensis*) menjadi salah satu tanaman unggulan komoditas perkebunan di Indonesia yang masih banyak dibudidayakan hingga saat ini. Tanaman karet sendiri dapat tumbuh dalam menghasilkan produktivitas lateks secara optimal pada wilayah beriklim tropis dengan curah hujan antara 2.000 – 2.500 mm per tahun dan suhu optimal 25-30°C, pada berbagai jenis tanah dengan ketinggian 200 - 400 m dpl (Rachman, 2022). Berdasarkan persyaratan tumbuh dari tanaman karet Indonesia menjadi negara dengan potensi perkebunan karet yang cukup besar dan strategis dengan total produksi karet alam pada tahun 2020 mencapai 4,1 juta ton, sehingga menjadikan Indonesia sebagai negara terbesar penghasil karet alam di dunia pada saat itu (Priyadi *et al.*, 2022). Luasan perkebunan tanaman karet sendiri mengalami peningkatan sebesar 2,5% pada tahun 2021 yaitu sebesar 3,77 juta hektar dari tahun sebelumnya yang hanya 3,68 juta hektar (Badan Pusat Statistik, 2022). Namun, peningkatan luasan lahan justru berbanding terbalik terhadap produktivitas tanaman karet setiap tahunnya. Tanaman karet cenderung mengalami penurunan produktivitas sebesar 25% dari tahun 2017 hingga tahun 2021 yaitu dari 1,2 ton menjadi 0,9 ton/hektar (Badan Pusat Statistik, 2022). Hal ini disebabkan berbagai faktor, seperti: penanaman baru (*replanting*), perubahan iklim dan adanya serangan hama dan penyakit.

Salah satu penyakit yang banyak menyerang pada tanaman karet yaitu jamur akar putih (JAP) yang disebabkan oleh serangan *Rigidoporus microporus* (Go *et al.*, 2019). JAP dapat mengganggu pertumbuhan dan perkembangan tanaman karet akibat penyerapan unsur hara dan mineral oleh tanaman tidak optimal sehingga menyebabkan penurunan produktivitas tanaman karet. JAP merupakan salah satu penyakit yang sangat merugikan terhadap perkebunan karet di berbagai negara, seperti : Indonesia, India, Malaysia, Sri Lanka, Thailand, dan Afrika barat yang dilaporkan telah menyebabkan penurunan

produksi setiap tahunnya sebesar 3-15% di perkebunan karet rakyat (Go *et al.*, 2021). Penyakit JAP yang disebabkan oleh jamur *R. microporus* atau *R. microporus* dapat menimbulkan kematian pada tanaman karet setelah 6 bulan – 1 tahun tanaman terserang. Hal ini karena JAP menyerang sistem perakaran dari tanaman sehingga menyebabkan akar yang terinfeksi akan menjadi lunak, membusuk dan berwarna coklat. Tanaman karet yang terinfeksi akan terlihat adanya misellia jamur yang menempel kuat pada akar karet berbentuk benang berwarna putih dengan gejala serangan JAP berupa daun tanaman memucat dan terlipat kedalam yang dalam waktu tertentu daun akan gugur dan rantingnya mati (Rezki *et al.*, 2019).

Serangan penyakit jamur akar putih pada tanaman karet menjadi permasalahan yang cukup sulit untuk dikendalikan. Pengendalian penyakit JAP pada tanaman karet biasanya dikendalikan dengan menggunakan fungisida berbahan sintetik dengan cara menyiramkan pada perakaran tanaman yang terserang. Namun penggunaan fungisida sintetik umumnya tidak ekonomis karena harga yang cukup mahal, serta penggunaan fungisida sintetik dalam jangka panjang dapat mengakibatkan permasalahan terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Oleh karena itu, penggunaan fungisida sintetik dapat diganti dengan sistem pengendalian HPT secara terpadu yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan berupa penggunaan agensia pengendali hayati. Salah satunya adalah pemanfaatan patogen antagonis yang dapat menekan pertumbuhan jamur *R. microporus* penyebab JAP seperti *Trichoderma harzianum*.

Trichoderma harzianum merupakan jenis jamur rizosfer yang diketahui memiliki kemampuan dalam menekan pertumbuhan jamur lain yang bersifat patogen terhadap tanaman. Oleh karena itu, *T. harzianum* dikenal luas sebagai agen pengendali hayati yang berpotensi dikembangkan sebagai produk biofungisida alami yang dapat membunuh patogen dan meningkatkan pertumbuhan tanaman melalui kemampuannya dalam mendetoksifikasi senyawa beracun dan mempercepat degradasi terhadap bahan organik (Sirait, 2022). Penggunaan *T. harzianum* sebagai biofungisida terhadap penyakit JAP memiliki potensi dalam menekan pertumbuhan dan perkembangan jamur *R. microporus*

sehingga diharapkan dapat mengendalikan dan menyembuhkan gejala serangan yang ditimbulkan oleh serangan JAP. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian terhadap efektivitas biofungisida *T. harzianum* dalam menekan pertumbuhan jamur akar putih secara *in vitro* pada berbagai konsentrasi yang berbeda.

B. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana membuktikan kemampuan antagonisme *T. harzianum* dalam menekan pertumbuhan jamur *R. microporus* penyebab JAP pada tanaman karet secara *in vitro*?
2. Bagaimana membuktikan potensi dan dosis yang tepat dari biofungisida berbahan aktif jamur *T. harzianum* dalam mengendalikan penyakit JAP pada tanaman karet?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Untuk membuktikan kemampuan antagonisme *T. harzianum* dalam menekan pertumbuhan jamur *R. microporus* penyebab JAP pada tanaman karet secara *in vitro*.
2. Untuk membuktikan potensi dan dosis yang tepat dari biofungisida berbahan aktif jamur *T. harzianum* dalam mengendalikan penyakit JAP pada tanaman karet.

D. Manfaat Penelitian

penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat dalam membuktikan kemampuan antagonisme *T. harzianum* dalam menekan pertumbuhan jamur *R. microporus* penyebab JAP pada tanaman karet secara *in vitro* sehingga dapat berpotensi menjadi biofungisida alami dengan yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Produktivitas Tanaman Karet (*Hevea brasiliensis*)

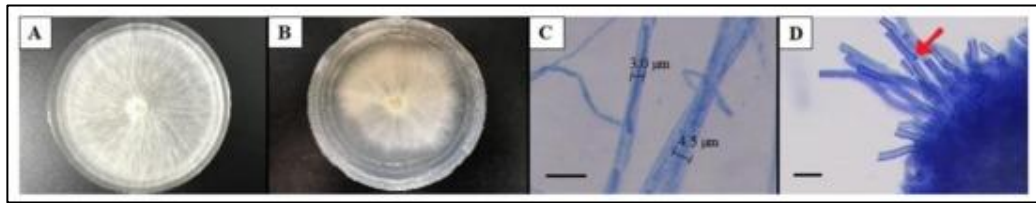
Tanaman karet (*Hevea brasiliensis*) menjadi salah satu komoditas perkebunan di Indonesia yang cukup strategis hingga saat ini. Perkebunan karet di Indonesia telah berumur lebih dari satu abad dan telah mengalami pasang surut. Namun, karet tetap diminati sebagai komoditas utama yang cukup menarik, terutama sebagai sumber devisa yang dapat mendorong pertumbuhan ekonomi di wilayah sekitar sentra-sentra baru perkebunan karet (Wulandari *et al.*, 2022). Kontribusi perkebunan karet ini terhadap sektor ekonomi diperoleh melalui peningkatan nilai ekspor sebesar \$3,95 miliar (Putri *et al.*, 2022). Sejarah pertama kalinya tanaman karet diperkenalkan ke Indonesia pada tahun 1864 dan ditanam secara komersil sebagai komoditas perkebunan pada tahun 1902 di Pulau Sumatera bagian Timur dan tahun 1906 di Pulau Jawa. Tanaman karet yang ada di Indonesia merupakan salah satu sumber utama bahan karet alam dunia (Mariati *et al.*, 2020). Luas perkebunan karet di Indonesia menurut data BPS pada tahun 2021 mencapai 3,77 juta ha dimana dengan luasan tersebut penelitian yang dilakukan oleh Putra *et al.*, (2022) menyebutkan bahwa produksi karet tahun 2021 diprediksi mencapai 3.735.190 ton dan pada tahun 2045 menjadi 5.869.768 ton. Produksi karet alam di Indonesia cenderung fluktuatif dan mengalami penurunan serta kenaikan yang tidak terlalu signifikan dalam rentang waktu selama 30 tahun terakhir yaitu tahun 1991-2020 (*Food and Agriculture Organization [FAO]*, 2021). Penurunan produktivitas tanaman karet dalam menghasilkan lateks disebabkan oleh berbagai faktor salah satunya serangan Organisme Pengganggu Tanaman (OPT). Hal ini karena serangan OPT dapat menjadi faktor pembatas yang menyebabkan terhambatnya produksi serta terjadinya penurunan kualitas produk yang berakibat pada penolakan produk hasil pertanian (Arsi *et al.*, 2022). Pada tanaman karet terdapat berbagai jenis penyakit yang menyerang seperti penyakit jamur upas, busuk pangkal batang, penyakit embun tepung oidium pada daun, penyakit kering bidang sadap dan

yang paling utama adalah penyakit JAP yang disebabkan oleh serangan jamur *Rigidoporus microporus* (Junita *et al.*, 2017).

B. Penyakit Jamur Akar Putih (*Rigidoporus microporus*)

Salah satu penyakit yang cukup merugikan di perkebunan karet adalah penyakit jamur akar putih (JAP) yang disebabkan oleh serangan jamur *R. microporus*. Penyakit JAP ini merupakan penyakit penting pada tanaman karet yang menyerang bagian akar tanaman mulai fase pembibitan sampai tanaman dewasa sehingga deteksi dini sangat penting untuk mengetahui langkah efektif dalam mengendalikan serangan patogen ini (Dalimunthe, 2019). JAP bertahan dalam tanah dengan cara membentuk rizomorf, sehingga mengakibatkan tanah yang telah terkontaminasi oleh JAP seterusnya tanah tersebut akan dihuni oleh JAP tersebut dan menjadi ancaman untuk setiap penanaman baru. Oleh karena itu, peremajaan yang dilakukan secara berulang-ulang dari tanaman karet ke karet akan menyebabkan akumulasi sumber penyakit yang disebabkan oleh jamur *R. microporus* tersebut dalam tanah dan areal bekas hutan merupakan salah satu areal yang paling potensial bagi perkembangan JAP (Dalimunthe dan Tristama, 2018).

JAP memiliki karakteristik miselium yang tampak berwarna putih pada sisi atas (Gambar 1A) dan berwarna putih sedikit kecoklatan pada sisi bawah (Gambar 1B), dengan lebar hifa bervariasi dari 3,0 μm - 4,5 μm (Gambar 1C), berdinding tebal, memiliki hifa hialin dan hifa setate tanpa tersambung klem, serta sistem hifa yang bersifat monomit (hifa generatif) (Gambar 1D). Penelitian yang dilakukan oleh Tjenemundan *et al.*, (2021) mengatakan bahwa *R. microporus* dapat menyebar secara generatif (seksual) melalui proses peleburan 2 sel inti yaitu kontak gametogium dan konjugasi, sedangkan penyebaran melalui vegetatif (aseksual) dilakukan dengan proses pembentukan tunas, fragmentasi dan pembentukan spora aseksual.



Sumber: Go *et al.*, (2021)

Gambar 1. Karakteristik Penyakit JAP: (A) miselium JAP tampak atas, (B) miselium JAP tampak bawah, (C) Hifa, (D) Generatif Hifa.

Umumnya penyebaran terjadi melalui mekanisme jatuhnya spora sebagai sumber infeksi penyakit JAP di permukaan tunggul segar tanaman karet dengan didukung kondisi iklim yang sesuai. Penyakit JAP akan menularkan antar tanaman melalui kontak antara akar tanaman sehat dengan tanaman yang terserang patogen kemudian, tanaman yang telah terserang JAP dapat menimbulkan lapuk pada bagian akar dan leher akar sehingga menyebabkan kematian dan kerugian besar berupa terhambatnya penyerapan unsur hara, mineral serta air, dan penurunan hasil produksi lateks. Oleh karena itu, penting dilakukan pengendalian yang tepat untuk meminimalisir kerugian yang ditimbulkan oleh serangan JAP. Umumnya serangan JAP masih dikendalikan dengan penggunaan pestisida sintetik berupa fungisida, namun penggunaan fungisida sintetik dapat memberikan dampak negatif bagi organisme non target, pencemaran lingkungan serta bersifat toksisitas bagi manusia dan juga hewan bila diaplikasikan secara terus-menerus dalam jangka panjang (Saubari *et al.*, 2019). Salah satu alternatif pengendalian alami yang lebih aman adalah menggunakan biofungisida alami berbahan agensia pengendali hayati (APH) yang memiliki dampak lebih baik, seperti lebih ekonomis, ramah lingkungan dan meminimalisir resistensi terhadap penyakit JAP dibandingkan penggunaan bahan sintetik yang cenderung tidak ekonomis dan ramah lingkungan. Penggunaan agensia pengendali hayati atau APH yang bersifat antagonis terhadap patogen melalui sifat parasitnya akan mampu mengendalikan serangan JAP, seperti *T. harzianum*.

C. Agensia Pengendali Hayati *T. harzianum* sebagai Biofungisida Alami

Agensia Pengendali Hayati atau APH merupakan salah satu mekanisme dalam manajemen penyakit yang bersifat komprehensif berupa penggunaan *BioControl Agents* (BCAs) yang memiliki sifat bersaing untuk nutrisi, antibiosis, mikroparasitisme, kemampuan memproduksi metabolit sekunder dan menginduksi resistensi penyakit pada inang (Wang *et al.*, 2022). Penelitian sejenis yang dilakukan oleh Amaria *et al.*, (2016) juga menyatakan jika *T. harzianum* bisa menjadi bahan aktif pembuatan biofungisida alami yang dapat dimanfaatkan dalam mengendalikan JAP melalui sifat antagonisme berupa kompetisi, antibiosis, induksi ketahanan, dan mampu menghasilkan metabolit sekunder yang dapat mematikan pathogen lain. Oleh karena itu, pengendalian JAP secara hayati mempunyai prospek yang cukup baik karena tidak berdampak jangka panjang terhadap pencemaran lingkungan dan juga sekali berhasil diinfeksi ke dalam jamur antagonis akan efektif dalam waktu yang relatif lama (Sudantha, 2018). Jamur *T. harzianum* merupakan cendawan yang paling umum digunakan sebagai agen hayati pengendali penyakit serta berfungsi juga sebagai biofertilizer dengan memacu pertumbuhan tanaman melalui mekanisme yang berupa mikroparasit dengan menghasilkan sejumlah besar metabolit sekunder antimikroba, fitohormon dan mobilisasi nutrisi tanaman untuk pertumbuhan dan produksi tanaman (Mastouri *et al.*, 2012).

Penggunaan APH jamur *T. harzianum* telah banyak dikembangkan dan diuji keefektifan secara *in vitro* maupun *in vivo* terhadap *R. microporus* penyebab jamur akar putih (JAP) pada tanaman karet seperti penelitian yang dilakukan Sirait (2022) bahwa isolat jamur *T. harzianum* mampu menghambat pertumbuhan *R. lignosus* dan *R. microporus* sebesar 100%. Kemudian peneliti yang sama melakukan penelitian terhadap efektifitas *T. harzianum* yang telah berbentuk biofungisida terhadap infeksi *R. microporus* secara *in vivo* pada benih karet dalam menentukan dosis dan frekuensi aplikasi yang menunjukkan faktor-faktor tersebut mampu memperlambat masa inkubasi patogen, menurunkan intensitas dan dapat menekan serangan penyakit JAP (Amaria *et al.*, 2018).

Penggunaan fungisida di lapangan masih menjadi pilihan utama bagi petani dalam mengendalikan berbagai jamur patogen penyebab penyakit, namun penggunaan dalam jangka panjang dapat menyebabkan resistensi (Nuraida *et al.*, 2021). Sifat resistensi terhadap bahan aktif fungisida yang timbul akan menyebabkan penyakit JAP sulit dikendalikan karena bahan aktif yang terkandung mengalami penurunan efektivitas pemberian terhadap intensitas serangan penyakit JAP. Selain dapat menimbulkan resistensi terhadap jamur patogen yang dikendalikan, penggunaan fungisida juga dapat menimbulkan dampak terhadap lingkungan berupa cemaran terhadap tanah dan air disekitar areal yang diaplikasikan dengan dampak hilangnya mikroorganisme lain yang bukan musuh alami bagi tanaman (Gava *et al.*, 2021).

Salah satu alternatif fungisida yang dapat meminimalisir dampak buruk yang ditimbulkan dari penggunaan fungisida sintetis yaitu biofungisida. Menurut Kubheka & Ziena (2022), Penggunaan biofungisida dapat menjadi alternatif dari penggunaan fungisida sintetis atau kimia dalam meminimalisir dampak terhadap lingkungan, hewan maupun manusia. Salah satu biofungisida yang telah banyak dikembangkan adalah biofungisida dari *T. harzianum* Jenis fungi ini digunakan sebagai biofungisida oleh petani dengan berbagai mekanisme dalam mengatur pertumbuhan dan perkembangan berbagai patogen tanaman. Penelitian yang dilakukan oleh Ghorbanpour *et al.*, (2018) dan Gajera *et al.*, (2020) melaporkan bahwa *T. harzianum* mampu menghasilkan antibiotik dan senyawa volatil sehingga dapat meningkatkan ketahanan tanaman.

D. Hipotesis

Studi literatur yang dilakukan terhadap penelitian sebelumnya dapat ditarik dugaan sementara atau hipotesis dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Diduga kemampuan antagonisme *T. harzianum* mampu dalam menekan pertumbuhan jamur *R. microporus* penyebab JAP pada tanaman karet secara *in vitro*.
2. Diduga perlakuan dengan konsentrasi biofungisida yang berbeda dan variasi total bulatan isolat *R. microporus* yang berbeda memiliki interaksi nyata

terhadap terhadap zona hambat *R. microporus* yang ditimbulkan secara *in vitro*.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama 5 bulan mulai dari Januari hingga Mei 2023. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Proteksi Tanaman dan Budidaya Tanaman Umum Lt 3, Prodi Pengelolaan Perkebunan, Politeknik LPP Yogyakarta.

B. Alat dan Bahan Penelitian

1. Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain *laminar air flow*, *petridish*, *erlenmeyer*, gelas ukur 10 mL dan 50 ml, jarum ose, jarum ent, hemasitometer, mikroskop binokuler, tabung reaksi, rak tabung, mikropipet 10-100 μ l, *yellow tip* 20 – 200 μ l, autoklaf, *hotplate*, *magnetic stirrer*, *cork borrer*, inkubator, pinset stainless, batang pengaduk, api bunsen, timbangan analitik, labu ukur, lemari pendingin, jangka sorong, pipet tetes, pipet ukur, *beaker glass*, spatula stainless, kaca arloji, *hand counter*, *vortex*, dan ATK.

2. Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain isolat murni jamur *R. microporus* dari Balai Penelitian Karet Getas (BPKG), biofungisida alami *T. harzianum* dari PT. Perkebunan Nusantara VIII (Persero), *potato dextrose agar* (PDA) merk. Himedia GM096, kentang, dextrose, agar, *kloramfenikol*, akuades, alkohol 70%, kapas, *alumunium foil*, plastik wrap, spiritus, kertas cakram (*cakram kirby-beuer*), *tissue*, *koran*, tween 0,05%, *methylen blue* 0,1%, kertas lakmus (indikator pH) dan APD.

C. Pelaksanaan

1. Rancangan Percobaan

Penelitian yang dilakukan ini merupakan jenis penelitian eksperimental dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) 2 tipe, yaitu non faktorial dan faktorial sebagai berikut:

a. RAL non faktorial

Rancangan untuk menguji kerapatan konidia dan viabilitas konidia, terdiri atas 5 taraf perlakuan konsentrasi biofungisida yang berbeda sebagai berikut:

T₁ = Biofungisida konsentrasi 20 % (1 ml larutan + 4 ml akuades)

T₂ = Biofungisida konsentrasi 40 % (2 ml larutan + 3 ml akuades)

T₃ = Biofungisida konsentrasi 60 % (3 ml larutan + 2 ml akuades)

T₄ = Biofungisida konsentrasi 80 % (4 ml larutan + 1 ml akuades)

T₅ = Biofungisida konsentrasi 100 % (tanpa penambahan akuades)

Setiap perlakuan akan diulang sebanyak 3 kali ulangan yang sama sehingga terdapat 15 satuan percobaan penelitian.

b. RAL faktorial

Rancangan untuk menguji efektivitas biofungisida berbahan aktif *T. harzianum* pada berbagai konsentrasi (biofungisida + akuades) terhadap jamur *R. microporus* penyebab penyakit jamur JAP pada tanaman karet secara *in vitro* dengan variasi total populasi *R. microporus* menggunakan bulatan koloni yang dipotong dengan menggunakan *cork borer* pada ukuran 6 mm. Selanjutnya, akan dilihat daya hambat *T. harzianum* terhadap jamur *R. microporus* pada masa inkubasi 7 - 21 hari. Berikut ini model rancangan penelitian yang akan digunakan:

Faktor 1 adalah konsentrasi biofungisida berbahan *T. harzianum* dengan 7 taraf perlakuan, yaitu:

T₀ = Tanpa pemberian biofungisida (akuades)

T₁ = Isolat murni *T. harzianum*

T₂ = Biofungisida konsentrasi 20 % (1 ml larutan + 4 ml akuades)

T₃ = Biofungisida konsentrasi 40 % (2 ml larutan + 3 ml akuades)

T₄ = Biofungisida konsentrasi 60 % (3 ml larutan + 2 ml akuades)

T₅ = Biofungisida konsentrasi 80 % (4 ml larutan + 1 ml akuades)

T₆ = Biofungisida konsentrasi 100 % (tanpa penambahan akuades)

Faktor 2 adalah variasi total bulatan koloni isolat *R. microporus* yang dipotong dengan menggunakan *cork borer* berukuran 6 mm yang terdiri dari 3 taraf perlakuan yaitu:

V₁ = 1 bulatan koloni isolat *R. microporus*

V₂ = 2 bulatan koloni isolat *R. microporus*

V₃ = 3 bulatan koloni isolat *R. microporus*

Berikut ini adalah satuan petak percobaan yang dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Satuan Petak Percobaan (*Experimental Plot*)

Faktor		Konsentrasi Biofungisida						
		T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆
Total	V ₁	T ₀ V ₁	T ₁ V ₁	T ₂ V ₁	T ₃ V ₁	T ₄ V ₁	T ₅ V ₁	T ₆ V ₁
Bulatan	V ₂	T ₀ V ₂	T ₁ V ₂	T ₂ V ₂	T ₃ V ₂	T ₄ V ₂	T ₅ V ₂	T ₆ V ₂
Koloni	V ₃	T ₀ V ₃	T ₁ V ₃	T ₂ V ₃	T ₃ V ₃	T ₄ V ₃	T ₅ V ₃	T ₆ V ₃

Keterangan: Setiap perlakuan akan diulang sebanyak 3 kali ulangan sehingga terdapat 63 satuan percobaan penelitian.

2. Tahapan Penelitian

a. Sterilisasi Alat dan Bahan

Semua peralatan maupun bahan yang digunakan dilakukan proses sterilisasi agar tidak terkontaminasi dengan mikroorganisme lain. Proses sterilisasi dilakukan dengan cara membungkus terlebih dahulu alat yang terbuat dari gelas dengan menggunakan kertas coklat atau koran, kemudian disterilisasi dengan menggunakan autoklaf pada suhu 121°C selama 15 menit, lalu ditunggu hingga jarum pada tekanan menunjukkan angka nol (Sari *et al.*, 2022).

b. Pembuatan Media *Potato Dextros Agar (PDA)*

Pembuatan media PDA dilakukan dengan memasukan 3,9 g media PDA dan 100 mL akuades ke dalam *erlenmeyer*. Setelah itu, dipanaskan hingga mendidih dan homogen. Lalu, tambahkan serbuk *kloramfenikol* 100 mg/liter yang berfungsi untuk antibiotik penghambat bakteri. Kemudian, tutup dengan menggunakan kapas dan *aluminium foil* untuk dilakukan sterilisasi di dalam autoklaf selama 15 menit pada suhu 121°C (Sari *et al.*, 2022)

c. Perbanyak biakan isolat *R. microporus*

Perbanyak biakan isolat jamur *R. microporus* mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Lestari (2017) perbanyak isolat murni jamur *R. microporus*, dilakukan pada media agar dalam wadah *petridish*.

d. Penyiapan Isolat *R. microporus*

Cara penyiapan isolat *R. microporus* menggunakan metode yang dilakukan dalam penelitian Siregar *et al.*, (2020), isolat jamur *R. microporus* dalam *petridish* yang telah diperbanyak dipotong dengan menggunakan *cork borer* berukuran 6 mm hingga diperoleh 1 bulatan koloni yang sama.

e. Inokulasi & Inkubasi Jamur Akar Putih pada PDA

Inokulasi jamur *R. microporus* dalam media PDA dilakukan dengan menggunakan metode *spread plate*. Media PDA steril dituangkan dalam media cawan petri hingga padat di *laminar air flow*. Kemudian media PDA padat di inokulasi dengan mensuspensi spora *R. microporus* pada variasi total populasi menggunakan bulatan koloni 1 bulatan, 2 bulatan dan 3 bulatan. Lalu inkubasi media PDA yang telah disuspensi dengan suhu kamar, selama 21 hari (Yastanto, 2020).

f. Penyiapan Sampel Biofungisida *T. harzianum*

Mengetahui efektivitas biofungisida berbahan *T. harzianum* dalam menghambat pertumbuhan penyakit jamur akar putih yang disebabkan oleh *R. microporus* dilakukan preparasi sampel biofungisida pada berbagai konsentrasi dengan pelarut akuades yaitu: konsentrasi 20%, 40%, 60%, 80%, 100% sehingga diperoleh total larutan sebanyak 5 ml.

g. Uji Kerapatan Konidia *T. harzianum*

Uji Kerapatan konidia *T. harzianum* dilakukan pada berbagai konsentrasi dengan menggunakan metode pengenceran bertingkat (*Serial dilution*) menggunakan alat hemasitometer pada pembesaran mikroskop binokuler 40 x. Hasil dihitung menggunakan rumus berikut (Ramli, 2004).

$$KK = \frac{\text{Rata-rata jumlah spora} \times d \times 10^6}{0,0025 \times 16}$$

Keterangan

KK	=	Kerapatan konidia
Rata-rata spora	=	Jumlah seluruh spora yang dihitung dibagi jumlah kotak sedang yang menjadi bidang pengamatan.
d	=	Tingkat pengenceran
10^6	=	Kerapatan konstanta
0,0025	=	Luas bidang kotak kecil (0,05 x 0,05 mm)
16	=	Jumlah kotak kecil (kotak)

h. Uji Viabilitas *T. harzianum*

Uji viabilitas dilakukan untuk mengetahui kemampuan perkecambahan spora jamur *T. harzianum* dengan mengambil 1 ml biofungisida *T. harzianum* pada berbagai konsentrasi dan dimasukkan ke dalam tabung reaksi yang berisi 10 ml akuades. Setelah itu,

inkubasi dalam inkubator selama 24 jam. Homogenkan campuran spora dengan *rotamixer/vortex* dan melakukan pengenceran 10^{-1} . Lalu, hitung jumlah spora yang berkecambah dan yang tidak berkecambah dengan menggunakan hemasitometer di bawah mikroskop binokuler. Hitung persentase rata-rata perkembangan jamur dengan rumus Gabriel & Riyatno (1989) berikut.

$$V = \frac{g}{g+u} \times 100\%$$

Keterangan :

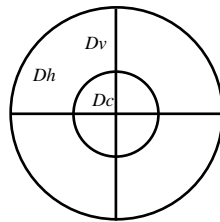
V = Persentase konidia yang berkecambah

g = Jumlah rata-rata konidia yang berkecambah

u = Jumlah rata-rata konidia yang tidak berkecambah

i. Uji Antagonisme dengan Metode Difusi Cakram

Pengujian antagonisme jamur *T. harzianum* terhadap jamur patogen *R. microporus* merupakan salah satu cara dalam menguji efektivitas biofungisida berbahan alami *T. harzianum*. Uji ini memodifikasi penelitian yang dilakukan oleh Cristoper *et al.*, (2018) dengan menggunakan metode kertas cakram (*Cakram Kirby-Beuer*). Metode dilakukan dengan merendam kertas cakram pada larutan biofungisida dengan konsentrasi yang berbeda selama ± 15 menit. Kemudian, kertas cakram diletakan pada media PDA yang telah diinokulasi jamur *R. microporus* dengan menggunakan pinset steril dengan sedikit ditekan pada media PDA. Lalu, di inkubasi pada suhu 37°C selama 21 hari. Cara peletakan kertas cakram dapat dilihat pada Gambar 1. Kemudian, untuk melihat aktivitas antifungi dilakukan dengan mengamati zona hambat jamur *T. harzianum* (Gambar 2) di sekitar kertas cakram terhadap jamur *R. microporus* dan diukur dengan menggunakan jangka sorong, kemudian dihitung zona hambatnya dengan menggunakan rumus (Paramastri, 2022).



$$ZH = \frac{(Dv - Dc) + (Dh - Dc)}{2}$$

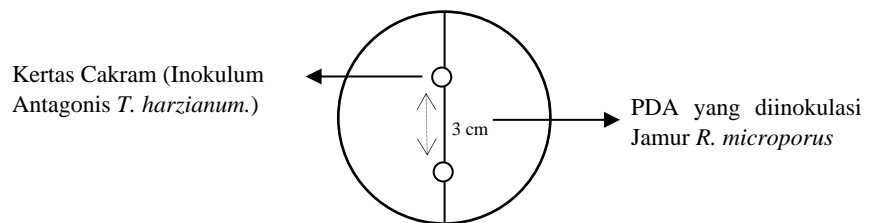
Keterangan:

ZH = Zona Hambat Antifungi

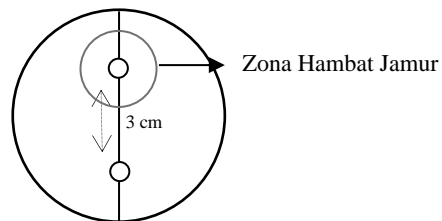
Dv = Diameter Vertikal

Dh = Diameter Horizontal

Dc = Diameter Cakram



Gambar 2. Peletakan kertas cakram inokulum antagonis *T. harzianum*.



Gambar 3. Zona hambat jamur antagonisme *T. harzianum*.

3. Analisis Data

Data hasil pengujian dari penelitian yang dilakukan akan dianalisa dengan Program Statistik SPSS 26. Pengujian asumsi klasik sebelum dilakukan analisis data menggunakan ANOVA (*One Way Anova*). Jika terdapat perbedaan nyata dilakukan Uji *Duncan Multiple Range Test* atau Uji Jarak Berganda *Duncan* pada taraf 5%.

D. Jadwal Pelaksanaan Penelitian

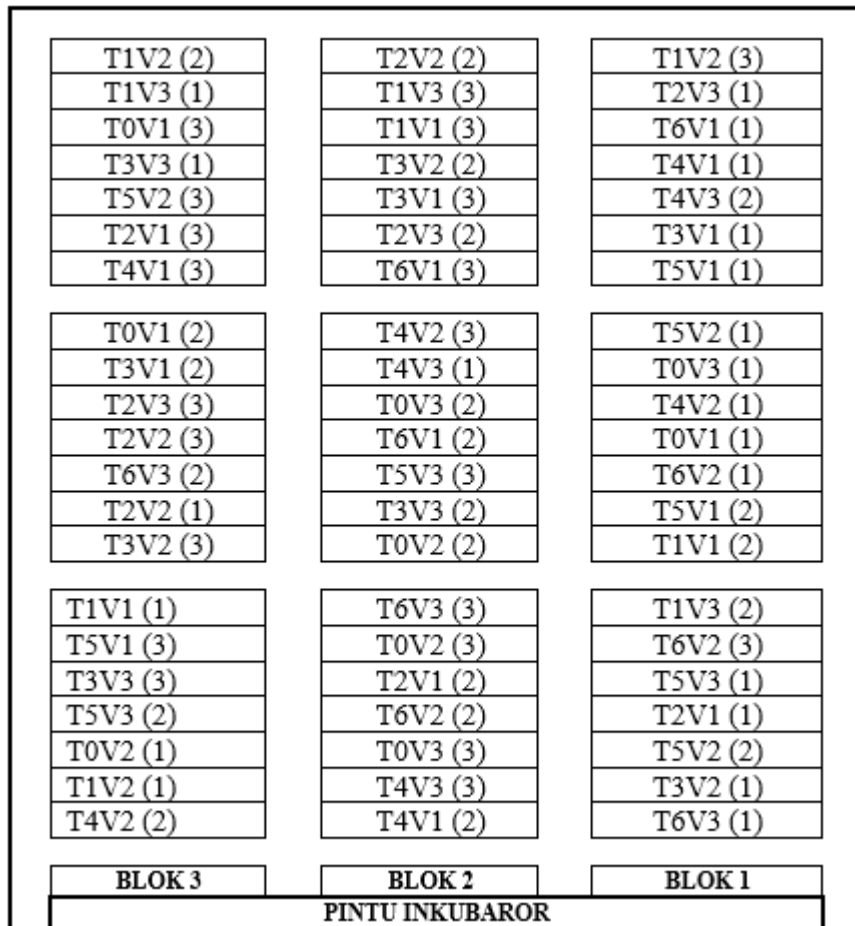
Berikut ini dapat dilihat pada Tabel 2 jadwal penelitian yang tersusun atas beberapa kegiatan sebagai berikut.

Tabel 2. *Timeline* Penelitian

No	Rincian Kegiatan	Januari				Februari				Maret				April				Mei		
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	
1.	Preparasi alat dan bahan	■																		
2.	Sterilisasi alat dan bahan	■																		
3.	Pembuatan media PDA		■	■																
4.	Perbanyak Isolat <i>R. microporus</i>		■	■																
5.	Pengenceran suspensi spora				■															
6.	Uji kerapatan konidia JAP					■	■													
7.	Inokulasi <i>R. microporus</i>						■	■												
8.	Preparasi sampel biofungisida								■											
9.	Uji kerapatan spora <i>T. harzianum</i>		■		■		■		■		■									
10.	Uji Viabilitas <i>T. harzianum</i>									■										
11.	Uji antagonisme											■	■	■	■					
12.	Analisis data														■	■	■	■	■	
13.	Seminar hasil																			■

E. Layout Penelitian

Tata letak setiap kombinasi perlakuan dalam inkubator dapat dilihat pada Gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4. Layout penelitian

BAB IV

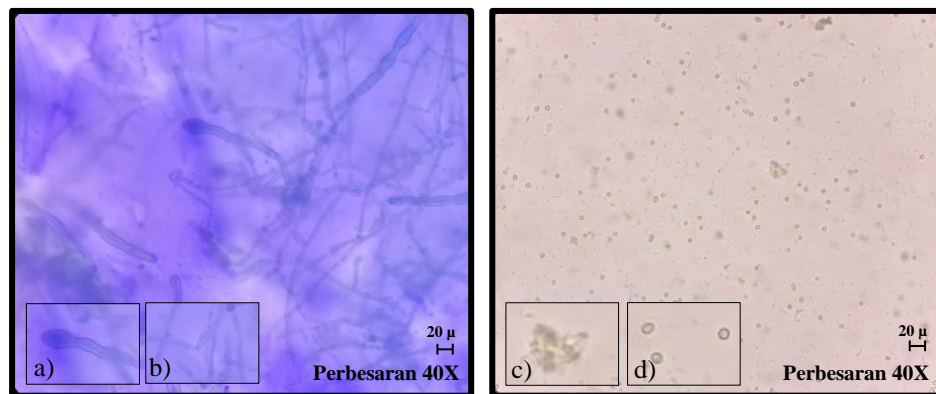
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil dan Pembahasan

Penelitian yang dilakukan merupakan pengembangan prototype produk biofungisida dari pemanfaatan agensia pengendali hayati (APH) *T. harzianum* yang memiliki efisiensi terhadap ekonomi dan lingkungan sehingga inovasi ini dapat menjadi terobosan maupun solusi bagi permasalahan penyakit ditanaman karet. Penelitian dilakukan pada skala *in vitro* di Laboratorium Proteksi Tanaman dan Budidaya Tanaman Umum, Politeknik LPP Yogyakarta dengan hasil sebagai berikut.

1. Identifikasi Jenis Mikroba

Penggunaan bahan aktif berupa fungi endofit merupakan salah satu upaya dalam pengendalian penyakit tanaman secara terpadu. Penelitian ini, fungisida diformulasikan dengan penambahan jamur *T. harzianum* yang memiliki efektifitas terhadap pengendalian patogen jamur akar putih (JAP) berupa *R. microporus*. Proses identifikasi jamur *T. harzianum* dilakukan untuk mengidentifikasi jenis spesies dan ketersediaan mikroba yang digunakan dalam meningkatkan potensi penggunaan produk fungisida alami. Identifikasi mikroba dilakukan terhadap 2 jenis mikroba yaitu jamur *T. harzianum* yang terkandung dalam formulasi bahan biofungisida dan isolat murni *R. microporus*.



Sumber: Dokumen Peneliti (2023)

Gambar 5. Identifikasi Morfologi Jamur *T. harzianum* dan *R. microporus* yang terdiri atas a) basidiospora, b) hifa, c) konidifor, d) konidia.

Hasil identifikasi terhadap morfologi jamur dari produk fungisida dan asal bahan aktif dapat diidentifikasi jika *T. harzianum* yang terkandung dalam produk merupakan jenis *T. harzianum*. Hal ini juga sesuai dengan asal isolate murni yang digunakan dalam pembuatan produk biofungisida. Identifikasi spesies jamur *Trichoderma* dilakukan dengan melihat ciri-ciri dari jamur menggunakan mikroskop pada pembesaran 40x (5 mm). Identifikasi yang dilakukan diperoleh spesies jamur *Trichoderma* yang terkandung dalam produk biofungisida merupakan *T. harzianum*. Hal ini dilihat dari ciri-ciri morfologi jamur *T. harzianum* yang terlihat kemudian dibandingkan dengan berbagai jenis spesies *T. harzianum* yang ada. Klasifikasi dari jamur *T. harzianum* menurut Rifai (1969) adalah sebagai berikut.

Kingdom	: Fungi
Divisi	: Ascomycota
Sub Divisi	: Pezizomycotina
Classis	: Sordariomyeetes _{20 μm}
Order	: Hypocreales
Family	: Hypocreaceae
Genus	: <i>Trichoderma</i>
Species	: <i>Trichoderma harzianum</i>

Jamur *T. harzianum* memiliki ciri morfologi yang terdiri atas konidia yang terdapat pada struktur badan jamur berupa konidiofor (Gambar 4), konidia yang terdapat pada spesies *T. harzianum* berbentuk semi bulat hingga oval yang pendek dengan ukuran berkisar antara 2,8 – 3,2 μm dengan dilapisi oleh dinding yang halus. *T. harzianum* memiliki klamidiospora yang merupakan spora aseksual pada jamur dengan struktur berdinding tebal yang sehingga memungkinkan untuk dapat bertahan hidup dalam lingkungan yang kurang menguntungkan. Namun klamidiospora umumnya terdapat pada miselia dari koloni yang sudah tua, sedangkan pada koloni

muda klamidiospora memiliki komposisi yang jarang terbentuk. Kemampuan jamur *T. harzianum* dalam memproduksi klamidiospora menjadi suatu hal yang penting karena berkaitan dengan proses sporulasi suatu jamur. Namun jamur tetap dapat bereproduksi secara aseksual dengan menggunakan konidia.

Identifikasi juga dilakukan terhadap isolat murni jamur *Rigidoporus sp.* untuk mengidentifikasi spesies jamur yang umumnya menyebabkan JAP pada tanaman karet. Identifikasi dilakukan secara mikroskopis dengan melihat ciri-ciri dari jamur menggunakan mikroskop pada pembesaran 40x (5 mm). Hasil identifikasi mikroba jamur menunjukkan jika jamur *Rigidoporus sp.* yang digunakan merupakan jamur dari spesies *R. microporus*. Pengamatan secara mikroskopis (Gambar 5) menunjukkan hifa memiliki banyak sekat yang rapat dan tebal, hialin, basidiospora berbentuk oval dan diperkirakan hialin memiliki garis tengah dengan rata-rata sebesar 3 – 5 μm . Pada pengamatan secara langsung dalam cawan petri (Lampiran 8) menunjukkan koloni berwarna putih dengan tampak berbentuk kapas, miselium lembut dan membentuk lingkaran konsentris.

2. Uji Kerapatan Konidia *T. harzianum*

Penelitian yang dilakukan Arsyadmunir *et al.*, (2023) menyatakan jamur *T. harzianum* sebagai *biocontrol agent* penyakit atau biofungisida alami dapat bertahan dan terlindungi selama periode penyimpanan tertentu, namun dengan formulasi terbaik yang memungkinkan jamur tetap dapat bereproduksi dan mendapatkan nutrisi yang cukup. Oleh sebab itu, dilakukan perhitungan kerapatan konidia pada konsentrasi larutan yang berbeda dengan diamati selama masa penyimpanan 0, 15, 30, 45 dan 60 hari untuk melihat bioaktivitas jamur *T. harzianum*. Hasil uji kerapatan konidia jamur *T. harzianum* pada berbagai masa penyimpanan dapat dilihat pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Uji kerapatan konidia jamur *T. harzianum* pada berbagai masa penyimpanan

Konsentrasi Larutan (%)	Kerapatan Konidia (1 x 10⁸ Konidia/ml)
Pengamatan Hari ke-0	
T1	0,038a
T2	0,033a
T3	0,068a
T4	0,090a
T5	0,148a
F	tn
Sig	0,309
Pengamatan Hari ke-15	
T1	0,483a
T2	0,510a
T3	0,145a
T4	0,335a
T5	0,152a
F	tn
Sig	0,365
Pengamatan Hari ke-30	
T1	0,095a
T2	0,120a
T3	0,203a
T4	0,085a
T5	0,170a
F	tn
Sig	0,631
Pengamatan Hari ke-45	
T1	0,033a
T2	0,070a
T3	0,338a
T4	0,125a
T5	0,315a
F	tn
Sig	0,525
Pengamatan Hari ke-60	
T1	0,022a
T2	0,038a
T3	0,266b
T4	0,127ab
T5	0,192ab

F	*
Sig	0,012

Keterangan : Angka-angka pada kolom yang sama yang diikuti oleh huruf yang berbeda menunjukkan berbeda nyata dengan uji lanjut DMRT pada taraf nyata $\alpha = 5\%$.

T₁ = Biofungisida konsentrasi 20 % (1 ml larutan + 4 ml akuades); T₂ = Biofungisida konsentrasi 40 % (2 ml larutan + 3 ml akuades); T₃ = Biofungisida konsentrasi 60 % (3 ml larutan + 2 ml akuades); T₄ = Biofungisida konsentrasi 80 % (4 ml larutan + 1 ml akuades); T₅ = Biofungisida konsentrasi 100 % (tanpa penambahan akuades)

Berdasarkan Tabel 3 menunjukkan jika kerapatan konidia jamur *T. harzianum* yang terkandung dalam biofungisida berada pada range kerapatan $10^6 - 10^7$. Uji kerapatan konidia jamur *T. harzianum* pada berbagai konsentrasi biofungisida diperoleh jika tidak terjadi perbedaan signifikan antara perlakuan pada pengamatan hari ke 0, 15, 30, dan 45 yang menunjukkan konsentrasi larutan biofungisida yang berbeda tidak memberikan perbedaan secara nyata terhadap tingkat kerapatan konidia jamur *T. harzianum*. Berdasarkan analisis ANOVA (*Lampiran 1*) diperoleh nilai signifikansi $> 0,05$ sehingga menyatakan setiap perlakuan tidak berbeda nyata. Namun, terjadi perbedaan yang signifikan antara perlakuan terhadap tingkat kerapatan konidia jamur *T. harzianum* pada pengamatan hari 60 dengan nilai signifikansi $< 0,05$ yang menunjukkan jika konsentrasi biofungisida yang berbeda pada masa penyimpanan 60 hari memberikan perbedaan yang nyata terhadap tingkat kerapatan jamur *T. harzianum* pada konsentrasi 40%.

Berdasarkan data pada (Tabel 3) menunjukkan masa simpan efektif biofungisida berada pada masa penyimpanan 14 hari dibandingkan dengan masa simpan sebelum dan sesudahnya. Pada masa penyimpanan 15 hari biofungisida alami menunjukkan tingkat kerapatan tertinggi terjadi pada konsentrasi 40% sebesar $5,10 \times 10^7$ dan menurun seiring dengan peningkatan konsentrasi. Secara umum, jamur membutuhkan nutrisi yang cukup sebagai sumber energi dalam meningkatkan pertumbuhan yang optimal melalui sumber nutrisi yang terdapat pada media tempat tumbuh

jamur tersebut (Riani & Futeri, 2023). Oleh sebab itu, Kandungan bahan biofungisida sangat menentukan masa simpan dari biofungisida tersebut.

Salah fase penting dalam daur hidup suatu cendawan adalah proses pembentukan spora atau dikenal dengan proses sporulasi. Proses sporulasi membutuhkan nutrisi berupa unsur-unsur seperti karbon (C), nitrogen (N), fosfor (P) dan kalium (K) yang merupakan unsur utama yang mempengaruhi pertumbuhan dan hasil spora jamur *T. harzianum*. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan di Laboratorium diperoleh kandungan unsur hara dalam formulasi biofungisida pada data Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. Hasil uji kandungan unsur dalam biofungisida

Unsur	Nilai	Standar*
	(%)	
C-Organik	1,105	Minimum 10%
N-Total	0,016	
P-Total	0,010	2 – 6 %
K-Total	0,063	

Sumber: Laboratorium Terpadu Instiper Yogyakarta, Tahun 2023

Keterangan*: Berdasarkan Kepmentan RI tentang persyaratan teknis minimal pupuk organik, pupuk hayati dan pembenah tanah No. 261/KPIS/SR.310/M/4/2019

Berdasarkan data Tabel 4 diatas menunjukkan jika kandungan unsur hara yang ada didalam formulasi biofungisida masih berada dibawah nilai standar untuk kandungan C-Organik, N-Total, P-Total dan K-Total sehingga hal ini yang dapat menyebabkan terhambatnya proses sporulasi yang erat kaitanya dengan kerapatan konidia jamur *T. harzianum*. Menurut Suharni *et al.*, (2023) unsur – unsur seperti C-Organik, N, P, dan K merupakan unsur yang berperan dalam pembentukan karbohidrat yang terdiri atas: glukosa, sukrosa, manosa, dan galaktosa yang digunakan *Trichoderma sp.* sebagai sumber energi dalam melakukan proses reproduksi serta pembentukan protein dan lemak dalam proses metabolisme. Pertumbuhan jamur *T. harzianum* yang tinggi akan menghasilkan jumlah konidia yang lebih banyak dan sebaliknya proses pertumbuhan yang rendah akan menghasilkan konidia lebih sedikit (Syam *et al.*, 2023)

Faktor yang mempengaruhi kerapatan konidia jamur *T. harzianum* pada biofungisida alami dapat juga berasal dari faktor luar seperti lingkungan, proses pengiriman biofungisida dan tempat penyimpanan yang dapat mempengaruhi kualitas larutan didalamnya. Proses pengiriman yang terjadi tanpa memperhatikan keamanan produk dapat berpotensi merusak kualitas bahan terutama menyebabkan mikroorganisme yang ada di dalam formulasi bahan akan mati akibat suhu yang tidak sesuai, terjadinya peningkatan pH, dan guncangan saat perjalanannya menyebabkan bahan mereduksi sehingga menghasilkan gas yang dapat meledak. Oleh sebab itu, penting untuk memperhatikan setiap faktor baik internal maupun eksternal yang dapat mempengaruhi kualitas produk agar dapat dengan efektif sesuai fungsinya.

3. Uji Viabilitas Jamur *T. harzianum*

Uji viabilitas spora *T. harzianum* pada biofungisida dilakukan untuk mengetahui kemampuan jamur dalam menghasilkan spora untuk memperbanyak koloni jamur. Viabilitas spora adalah kemampuan spora atau daya hidup spora untuk dapat tumbuh dengan melakukan proses berkecambah secara normal pada kondisi optimum yang dipengaruhi oleh umur biakan dan faktor lingkungan seperti kandungan air, cahaya matahari, suhu dan kesuburan media perbanyakannya (Syam *et al.*, 2023).

Viabilitas spora jamur dihitung dengan melihat jumlah spora yang berkecambah dan tidak berkecambah pada suatu bidang pandang. Menurut Ramli, (2004) viabilitas spora jamur yang baik digolongkan berdasarkan 3 klasifikasi penggolongan yang dapat dilihat pada (Tabel 5), sedangkan untuk hasil rata – rata viabilitas spora jamur *T. harzianum* pada berbagai konsentrasi dapat dilihat pada Tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5. Penggolongan viabilitas spora.

Nilai Viabilitas Spora (%)	Keterangan
----------------------------	------------

> 85 – 100 %	Baik
> 70 – 85 %	Sedang
< 55 – 70 %	Kurang

Sumber: Ramli (2004)

Tabel 6. Hasil rerata pengujian viabilitas jamur *T. harzianum*

Perlakuan	Faktor Pengenceran	Persentase Viabilitas spora	Keterangan
	(ml)	(%)	
T1	10 ⁻¹	59,6 ab	Kurang
T2	10 ⁻¹	74,5 c	Sedang
T3	10 ⁻¹	61,7 b	Kurang
T4	10 ⁻¹	58,3 ab	Kurang
T5	10 ⁻¹	57,7 a	Kurang
F		*	
Sig		0,000003	

Keterangan : Angka-angka pada kolom yang sama yang diikuti oleh huruf yang berbeda menunjukkan berbeda nyata dengan uji lanjut DMRT pada taraf nyata $\alpha = 5\%$.

T₁ = Biofungisida konsentrasi 20 % (1 ml larutan + 4 ml akuades); T₂ = Biofungisida konsentrasi 40 % (2 ml larutan + 3 ml akuades); T₃ = Biofungisida konsentrasi 60 % (3 ml larutan + 2 ml akuades); T₄ = Biofungisida konsentrasi 80 % (4 ml larutan + 1 ml akuades); T₅ = Biofungisida konsentrasi 100 % (tanpa penambahan akuades)

Berdasarkan Tabel 6 menunjukkan adanya perbedaan nyata antar perlakuan dengan nilai signifikansi $P < 0,05$ yang terdapat pada perlakuan konsentrasi biofungisida 40%. Uji yang dilakukan pada konsentrasi larutan biofungisida 40% menunjukkan kemampuan viabilitas jamur tertinggi yaitu sebesar 74,50 %. Namun, mengalami penurunan pada konsentrasi 100%. Hal ini terjadi akibat kandungan konsentrasi terlalu tinggi pada kandungan bahan biofungisida menyebabkan penyerapan air dalam spora jamur menjadi lambat sehingga mengurangi laju jamur dalam menghasilkan spora. Selanjutnya, data yang disajikan pada (Tabel 6) menunjukkan jika viabilitas jamur pada konsentrasi 20%, 60%, 80% dan 100% memiliki viabilitas kurang sedangkan pada konsentrasi 40% memiliki viabilitas sedang dan tidak ada viabilitas spora yang menunjukkan tingkat viabilitas spora yang baik sesuai pada penggolongan tingkat viabilitas yang terdapat pada (Tabel

5). Hal ini dapat menjadi penentu dalam melihat efektifitas suatu biofungisida dalam menekan pertumbuhan suatu patogen. Viabilitas spora sendiri dapat menurun bila selama proses subkultur terjadi penurunan sumber karbon seperti glukosa, glukosamin, khitin, pati, nitrogen dan kondisi lingkungan yang kurang optimal bagi pertumbuhan jamur (Syam *et al.*, 2023)

Jamur membutuhkan nutrisi yang cukup untuk dapat tumbuh dan berkembang serta menghasilkan sifat antagonisme terhadap jamur patogen. Oleh sebab itu, kandungan pembawa berfungsi dalam memberikan asupan nutrisi bagi pertumbuhan jamur dan merupakan faktor penting yang dapat mempengaruhi viabilitas atau daya tahan hidup jamur *T. harzianum* kebutuhan nutrisi berupa unsur nitrogen (N) dan karbon (C) serta komponen pendukung pertumbuhan lainnya sangat dibutuhkan oleh jamur *T. harzianum* (Bilgrami & Verna, 1978; Papavizas (1986). Selain itu juga, menurut Chatri *et al.*, (2018) suatu bahan atau substrat pembawa yang menjadi sumber nitrogen (N) dan karbon (K) menentukan peningkatan kemampuan serta ketahanan sporulasi dari jamur *T. harzianum* sehingga dapat dikatakan pada masa 2 minggu terjadi penurunan kandungan pada biofungisida yang menekan pertumbuhan konidia jamur *T. harzianum* didalamnya.

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium pada (Tabel 4) menunjukkan kandungan biofungisida alami terhadap C-Organik sebesar 1,105 % dan Nitrogen sebesar 0,016%, dengan rasio C/N sebesar 69,06 menunjukkan jika bahan pembawa memiliki kandungan unsur N maupun C yang cukup rendah dengan rasio C/N yang tinggi. Menurut Handayani (2022) Rasio C/N yang baik bagi pertumbuhan jamur berkisar antara 10 – 20 karena dapat memicu pertumbuhan miselium jamur dan meningkatkan produksi konidia, sedangkan rasio C/N yang terlalu tinggi akan berbanding terbalik dengan menyebabkan penghambatan terhadap meselium, menurunkan produksi konidia dan viabilitas spora jamur.

4. Uji Antagonisme Zona Hambat

Jamur *T. harzianum* merupakan biokontrol yang banyak digunakan sebagai agen pengendali patogen tular tanah yang efektif dalam menekan pertumbuhan jamur patogen. Dalam pengujian antagonisme jamur *T. harzianum* yang terkandung pada biofungisida dilakukan pengujian zona hambat jamur dengan menghitung diameter hambatan yang terbentuk pada jamur *R. microporus*. Pengukuran Diameter zona hambat dilakukan dengan tujuan untuk menentukan daya hambat suatu substrat terhadap pertumbuhan jamur *R. microporus*. Penggolongan respon hambatan terhadap pertumbuhan jamur diklasifikasikan pada (Tabel 7), sedangkan untuk hasil diameter hambatan jamur *T. harzianum* terhadap *R. microporus* ditunjukkan pada Tabel 7 sebagai berikut.

Tabel 7. Penggolongan diameter zona hambat terhadap respon hambatan pertumbuhan

Diameter Zona Hambat	Respon Hambatan Pertumbuhan
> 20 mm	Sangat Kuat
16 – 20 mm	Kuat
10 – 15 mm	Sedang
< 10 mm	Lemah

Sumber: Alfiah *et al.*, (2015)

Tabel 8. Uji Antagonis Diameter Zona Hambat *T. harzianum* terhadap *R. microporus*

Perlakuan	Diameter Zona Hambat (mm)
Pengamatan Hari ke-7	
T0V1 (<i>tanpa biofungisida + 1 bulatan koloni</i>)	0,00 a
T0V2 (<i>tanpa biofungisida + 2 bulatan koloni</i>)	0,00 a
T0V3 (<i>tanpa biofungisida + 3 bulatan koloni</i>)	0,00 a
T1V1 (<i>Isolat murni T. harzianum + 1 bulatan koloni</i>)	7,67 abcde
T1V2 (<i>Isolat murni T. harzianum + 2 bulatan koloni</i>)	3,67 ab
T1V3 (<i>Isolat murni T. harzianum + 3 bulatan koloni</i>)	15,67 ef
T2V1 (<i>biofungisida 20% + 1 bulatan koloni</i>)	13,83 cdef

T2V2 (<i>biofungisida 20% + 2 bulatan koloni</i>)	10,00	abcde
T2V3 (<i>biofungisida 20% + 3 bulatan koloni</i>)	5,50	abcd
T3V1 (<i>biofungisida 40% + 1 bulatan koloni</i>)	21,67	f
T3V2 (<i>biofungisida 40% + 2 bulatan koloni</i>)	8,00	abcde
T3V3 (<i>biofungisida 40% + 3 bulatan koloni</i>)	4,83	abc
T4V1 (<i>biofungisida 60% + 1 bulatan koloni</i>)	12,33	bcdef
T4V2 (<i>biofungisida 60% + 2 bulatan koloni</i>)	6,17	abcde
T4V3 (<i>biofungisida 60% + 3 bulatan koloni</i>)	15,00	def
T5V1 (<i>biofungisida 80% + 1 bulatan koloni</i>)	15,00	def
T5V2 (<i>biofungisida 80% + 2 bulatan koloni</i>)	12,33	bcdef
T5V3 (<i>biofungisida 80% + 3 bulatan koloni</i>)	14,33	cdef
T6V1 (<i>biofungisida 100% + 1 bulatan koloni</i>)	11,33	bcde
T6V2 (<i>biofungisida 100% + 2 bulatan koloni</i>)	7,00	abcde
T6V3 (<i>biofungisida 100% + 3 bulatan koloni</i>)	7,00	abcde
F		*
Sig		0,000113
Pengamatan Hari ke-14		
T0V1 (<i>tanpa biofungisida + 1 bulatan koloni</i>)	0,00	a
T0V2 (<i>tanpa biofungisida + 2 bulatan koloni</i>)	0,00	a
T0V3 (<i>tanpa biofungisida + 3 bulatan koloni</i>)	0,00	a
T1V1 (<i>Isolat murni T. harzianum + 1 bulatan koloni</i>)	11,50	bcde
T1V2 (<i>Isolat murni T. harzianum + 2 bulatan koloni</i>)	4,00	ab
T1V3 (<i>Isolat murni T. harzianum + 3 bulatan koloni</i>)	17,00	cdef
T2V1 (<i>biofungisida 20% + 1 bulatan koloni</i>)	17,67	def
T2V2 (<i>biofungisida 20% + 2 bulatan koloni</i>)	14,83	bcde
T2V3 (<i>biofungisida 20% + 3 bulatan koloni</i>)	6,83	abcd
T3V1 (<i>biofungisida 40% + 1 bulatan koloni</i>)	26,67	f
T3V2 (<i>biofungisida 40% + 2 bulatan koloni</i>)	10,50	abcde
T3V3 (<i>biofungisida 40% + 3 bulatan koloni</i>)	6,33	abc
T4V1 (<i>biofungisida 60% + 1 bulatan koloni</i>)	15,33	cde
T4V2 (<i>biofungisida 60% + 2 bulatan koloni</i>)	9,33	abcde
T4V3 (<i>biofungisida 60% + 3 bulatan koloni</i>)	19,83	ef
T5V1 (<i>biofungisida 80% + 1 bulatan koloni</i>)	16,00	cdef
T5V2 (<i>biofungisida 80% + 2 bulatan koloni</i>)	16,5	cdef
T5V3 (<i>biofungisida 80% + 3 bulatan koloni</i>)	16,00	cdef
T6V1 (<i>biofungisida 100% + 1 bulatan koloni</i>)	12,83	bcde
T6V2 (<i>biofungisida 100% + 2 bulatan koloni</i>)	11,50	bcde
T6V3 (<i>biofungisida 100% + 3 bulatan koloni</i>)	11,00	bcde
F		*
Sig		0,000022
Pengamatan Hari ke-21		

T0V1 (<i>tanpa biofungisida + 1 bulatan koloni</i>)	0,00	a
T0V2 (<i>tanpa biofungisida + 2 bulatan koloni</i>)	0,00	a
T0V3 (<i>tanpa biofungisida + 3 bulatan koloni</i>)	0,00	a
T1V1 (<i>Isolat murni T. harzianum + 1 bulatan koloni</i>)	13,50	bcdef
T1V2 (<i>Isolat murni T. harzianum + 2 bulatan koloni</i>)	5,67	ab
T1V3 (<i>Isolat murni T. harzianum + 3 bulatan koloni</i>)	21,67	f
T2V1 (<i>biofungisida 20% + 1 bulatan koloni</i>)	21,33	ef
T2V2 (<i>biofungisida 20% + 2 bulatan koloni</i>)	16,16	cdef
T2V3 (<i>biofungisida 20% + 3 bulatan koloni</i>)	10,33	bcd
T3V1 (<i>biofungisida 40% + 1 bulatan koloni</i>)	34,83	g
T3V2 (<i>biofungisida 40% + 2 bulatan koloni</i>)	12,67	bcde
T3V3 (<i>biofungisida 40% + 3 bulatan koloni</i>)	8,00	abc
T4V1 (<i>biofungisida 60% + 1 bulatan koloni</i>)	17,50	def
T4V2 (<i>biofungisida 60% + 2 bulatan koloni</i>)	12,67	bcde
T4V3 (<i>biofungisida 60% + 3 bulatan koloni</i>)	22,67	fg
T5V1 (<i>biofungisida 80% + 1 bulatan koloni</i>)	18,00	def
T5V2 (<i>biofungisida 80% + 2 bulatan koloni</i>)	19,33	def
T5V3 (<i>biofungisida 80% + 3 bulatan koloni</i>)	18,33	def
T6V1 (<i>biofungisida 100% + 1 bulatan koloni</i>)	15,83	cdef
T6V2 (<i>biofungisida 100% + 2 bulatan koloni</i>)	14,00	bcdef
T6V3 (<i>biofungisida 100% + 3 bulatan koloni</i>)	11,67	bcd
	F	*
	Sig	0,00000000169

Keterangan : Angka-angka pada kolom yang sama yang diikuti oleh huruf yang berbeda menunjukkan berbeda nyata dengan uji lanjut DMRT pada taraf nyata $\alpha = 5\%$.

T₀ = Tanpa pemberian biofungisida (akuades); T₁ = Isolat murni *T. harzianum*; T₂ = Biofungisida konsentrasi 20 % (1 ml larutan + 4 ml akuades); T₃ = Biofungisida konsentrasi 40 % (2 ml larutan + 3 ml akuades); T₄ = Biofungisida konsentrasi 60 % (3 ml larutan + 2 ml akuades); T₅ = Biofungisida konsentrasi 80 % (4 ml larutan + 1 ml akuades); T₆ = Biofungisida konsentrasi 100 % (tanpa penambahan akuades); V₁ = 1 bulatan koloni isolat *R. microporus*; V₂ = 2 bulatan koloni isolat *R. microporus*; V₃ = 3 bulatan koloni isolat *R. microporus*

Berdasarkan Tabel 8 menunjukkan adanya pengaruh sangat nyata terhadap interaksi antara konsentrasi larutan yang berbeda dengan variasi total bor isolat murni jamur *R. microporus*. Hasil analisis ANOVA (Lampiran 3) menunjukkan nilai sig P < 0,05 pada pengamatan ke 7, 14 dan 21 hari masa inkubasi. Hasil juga menunjukkan adanya perbedaan nyata antara perlakuan dengan kontrol terutama pada perlakuan T3V1 (Konsentrasi 40% + Variasi 1

bor isolat *R. microporus*) dengan nilai diameter hambatan yang terbentuk sebesar 21,67 mm pada masa inkubasi 7 hari, 26,67 mm pada masa inkubasi 14 hari dan meningkat menjadi 34,83 mm pada masa inkubasi 21 hari. Hal ini sesuai dengan nilai viabilitas spora yang terjadi pada konsentrasi 40% yang lebih tinggi dibandingkan konsentrasi yang lainnya.

Hasil dari Tabel 8 menunjukkan jika konsentrasi larutan yang berbeda berpengaruh dalam menghasilkan zona hambatan pada variasi tingkat serangan melalui total jumlah bor bulatan isolate jamur *R. microporus* yang berbeda juga. Pada konsentrasi 40% mampu menghasilkan penghambatan pertumbuhan JAP terbesar yaitu 34.83 mm (Sangat kuat) pada variasi 1 bor isolate *R. microporus*. Kemudian, Konsentrasi 60% mampu menghasilkan penghambatan pertumbuhan JAP terbesar yaitu 22,67 mm (Sangat kuat) pada variasi 3 bor isolate *R. microporus* dan pada konsentrasi 80% mampu menghasilkan penghambatan pertumbuhan JAP terbaik sebesar 19.33 mm (Kuat) pada variasi 2 bor isolate *R. microporus*. Sehingga, dapat dilihat jika semakin tinggi konsentrasi justru akan menghasilkan zona hambatan yang lebih kecil.

Potensi biofungisida alami dalam menghambat pertumbuhan jamur patogen dapat dilihat dari kecepatan pertumbuhan jamur antagonisnya karena merupakan indikator kompetisi ruang dan nutrisi dengan jamur patogen (Yulia, 2017). Penelitian Lusiana *et al.*, (2022) jamur *T. harzianum* memiliki kemampuan daya antagonis lebih tinggi dibandingkan *Aspergillus* sp. dan *Penicillium* sp. melalui kecepatan pertumbuhan koloni sehingga dominan dalam persaingan terhadap ruang dan nutrisi dengan jamur patogen. Hasil penelitian pada Tabel 8 menunjukkan rata-rata diameter hambatan yang terbentuk dapat dilihat pada (Lampiran 8) jamur *T. harzianum* menghambat pertumbuhan jamur *R. microporus* dengan cara menekan pertumbuhan jamur patogen yang ada dibawahnya kemudian *R. microporus* akan mengalami perubahan warna yang mengarah pada kematian.

Mekanisme sifat anatagonis jamur *Trichoderma* sp. terjadi dengan cara menghambat pertumbuhan jamur patogen melalui kompetisi, lisis, antibiosis

dan parasitisme. Penghambatan secara kompetisi terjadi melalui persaingan terhadap ruang dan nutrisi yang ada pada media yang sama. Sementara itu, mekanisme antibiosis dan lisis melibatkan adanya produksi metabolit beracun atau senyawa toksin yang merupakan enzim ekstraseluler berupa β -1,3-glukanase, kitinase, selulase dan proteinase yang dihasilkan oleh *T. harzianum* yang mampu mendegradasi dinding sel jamur patogen (Dendang, 2015). Pada pengamatan secara visual terhadap kerusakan hifa, terjadinya abnormalitas hifa yang terjadi akibat adanya reaksi antagionistik dari isolat *Trichoderma*. Pertumbuhan hifa *R. microporus* akan mengalami penghambatan oleh adanya hifa *T. harzianum* yang terus tumbuh bersifat parasit terhadap hifa patogen sehingga terjadinya penipisan terhadap dinding hifa yang kemudian hifa akan mengalami lisis, hifa bengkok, hifa melilit dan hifa menggulung (Rahmiati *et al.*, 2020).

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian yang dilakukan sebagai berikut:

1. Produk prototype biofungisida berbahan aktif jamur *T. harzianum* belum efektif secara maksimal dalam menghambat pertumbuhan jamur *R. microporus* penyebab penyakit JAP karena kerapatan konidia masih berada pada range $10^6 - 10^7$ dengan standar kerapatan jamur 10^8 dan viabilitas spora tertinggi yaitu sebesar 74,5% (sedang) pada konsentrasi larutan 40% yang masih dibawah standar viabilitas spora konidia 86 - 100%.
2. Hasil uji antagonisme menunjukkan bahwa perlakuan konsentrasi larutan 40% pada variasi 1 bor isolat JAP menghasilkan diameter zona hambat yang terbesar yaitu 34.83 mm pada hari ke - 21.

B. Saran

Adapun saran dari penelitian ini sebagai berikut.

1. Perlu dilakukan penelitian terkait formulasi bahan yang tepat terhadap produk biofungisida yang akan digunakan.
2. Perlu dilakukan identifikasi lebih lanjut terkait penelitian efektivitas biofungida secara *in vivo* dilapangan terhadap penyakit jamur akar putih yang disebabkan oleh serangan *R. microporus*.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfiah, R. R., Khotimah, S., & Turnip, M. 2015. Efektivitas ekstrak metanol daun sembung rambat (*Mikania micrantha* Kunth) terhadap pertumbuhan jamur *Candida albicans*. *Jurnal Protobiont*, 4(1): 52 – 57.
- Amaria, W., Harni, R., & Wardiana, E. 2018. Effect of Dosage and Application Frequencies of Trichoderma Biofungicide on Rigidoporus microporus Infection in Rubber. *Jurnal Tanaman Industri dan Penyegar*, 5(2): 49-58.
- Amaria, W., Soesanthy, F., & Ferry, Y. 2016. Keefektifan biofungisida Trichoderma spp. dengan tiga jenis bahan pembawa terhadap jamur akar putih Rigidoporus microporus. *Jurnal Tanaman Industri dan Penyegar*, 3(3): 37–44.
- Arsi, A., Suparman, S. H. K., Hamidson, H., Gunawan, B., Pujiastuti, Y., Pratama, R., & Mauluddin, M. 2023. Teknik Budidaya Petani Tanaman Karet (*Hevea brasiliensis*) terhadap Hama dan Penyakit di Kecamatan Tanjung Batu, Kabupaten Ogan Ilir. In *Seminar Nasional Lahan Suboptimal*, 10(1): 898-909.
- Arsyadmunir, A., Pawana, G., Badami, K., Sholikhah, N., & Wuryandari, Y. 2023. Effect of biopolymer composition on the viability of Trichoderma sp. as maize-seed coating. *Agrovigor: Jurnal Agroekoteknologi*, 16(1): 1-5.
- Badan Pusat Statistik. 2022. Luas Lahan Perkebunan Menurut Provinsi (Ribu Hektar), 2019-2021. <https://www.bps.go.id/indicator/54/131/1/luas-tanaman-perkebunan-menurut-provinsi.html>. diakses 16 November 2022
- Badan Pusat Statistik. 2022. Produksi perkebunan rakyat menurut jenis tanaman 2000 - 2021. <https://www.bps.go.id/subject/54/perkebunan.html#subjekViewTab3>. diakses 16 November 2022.
- Bilgrami, K.S. and Verma R.N., 1978. Physiology of Fungi. Vikhas Publishing House PVT Ltd.
- Chatri, M. 2018. Pengaruh Media (Campuran Beras Dan Ampas Tebu) terhadap Pertumbuhan *Trichoderma harzianum* dan Daya Hambatnya terhadap *Fusarium oxysporum* secara *In vitro*. *Bioscience*, 2(1): 50-60.
- Christoper, W., Natalia, D., & Rahmayanti, S. 2018. Uji Aktivitas Antijamur Ekstrak Etanol Umbi Bawang Dayak (*Eleutherine americana* (Aubl.) Merr. Ex K. Heyne.) terhadap *Trichophyton mentagrophytes* secara *In Vitro*. *Jurnal Kesehatan Andalas*, 6(3): 685-689.

- Dalimunthe, C. I., & Tistama, R. 2018. Potensi Asap Cair Dalam Mengendalikan Penyakit Jamur Akar Putih (*Rigidoporus microporus*) Pada Tanaman Karet. In Talenta Conference Series: Agricultural and Natural Resources (ANR). 1 (1): 105-109.
- Dalimunthe, C. I., Wahyuni, S., & Tistama, R. 2019. Teknik Serologi Untuk Deteksi Dini Penyakit Jamur Akar Putih (*Rigidoporus Microporus*) Menggunakan Metode Dotblot. *Warta Perkaratan*. 38(2): 85-90.
- Dendang, B. 2015. Uji antagonisme *Trichoderma* spp. terhadap *Ganoderma* sp. yang menyerang tanaman sengon secara *in vitro*. *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea*. 4(2): 147-156.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2021. Crops Statistic Of Production Natural Rubber Indonesia (1990- 2019). <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Diakses pada tanggal 18 November 2022.
- Gabriel, B. P., & Riyanto 1989. *Metharizhium anisopliae* (Metsch) Sor. Taksonomi, Patologi, Produksi dan Aplikasinya. Proyek Pengembangan Tanaman Perkebunan, Departemen Pertanian, Jakarta.
- Gajera, H. P., Hirpara, D. G., Savaliya, D. D., & Golakiya, B. A. 2020. Extracellular metabolomics of *Trichoderma* biocontroller for antifungal action to restrain *Rhizoctonia solani* Kuhn in cotton. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 112(2): 101-547.
- Gava, A., Emer, C. D., Ficagna, E., Fernandes de Andrade, S., & Fuentesfria, A. M. 2021. Occurrence and impact of fungicides residues on fermentation during wine production—A review. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 38(6): 943-961.
- Ghorbanpour, M., Omidvari, M., Abbaszadeh-Dahaji, P., Omidvar, R., Kariman, K. 2018. Mechanisms underlying the protective effects of beneficial fungi against plant diseases. *Biological Control*. 117: 147 - 157
- Go, W. Z., Chin, K. L., H'ng, P. S., Wong, M. Y., Luqman, C. A., Surendran, A., & Kong, W. J. 2021. Virulence of *Rigidoporus microporus* Isolates Causing White Root Rot Disease on Rubber Trees (*Hevea brasiliensis*) in Malaysia. *Plants*, 10(10): 2123.
- Go, W. Z., H'ng, P. S., Wong, M. Y., Chin, K. L., Ujang, S., & Noran, A. S. 2019. Evaluation of *Trichoderma asperellum* as a potential biocontrol agent against *Rigidoporus microporus* *Hevea brasiliensis*. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 52(7-8): 639-666.

- Handayani, E. F. B. 2022. Pemberian Dekomposer Jamur *Trichoderma* sp. Terhadap Kematangan Trikompos Batang Pisang. *Agrofood*, 4(1): 17-23.
- Junita, R., Lubis, L., Pinem, M. I., & Dalimunthe, C. I. 2017. Hubungan antara Anatomi Daun dengan Ketahanan Penyakit Gugur Daun pada Tanaman Karet (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg). *Jurnal Agroekoteknologi*, 5(1): 160-166.
- Kubheka, B. P., & Ziena, L. W. 2022. Trichoderma: A biofertilizer and a biofungicide for sustainable crop production. *IntechOpen* 1(1):1-16.
- Lestari, A. 2017. Isolasi, karakterisasi, dan Produksi Inokulan Jamur Merang (*Volvariella volvaceae* bull. Ex. Fr) Sing dari Beberapa Lokasi Budidaya di Karawang. *Jurnal Agrotek Indonesia (Indonesian Journal of Agrotech)*, 2(1): 54-59.
- Lusiana, S., Mukarlina, M., & Zakiah, Z. 2022. Daya Hambat Isolat Jamur Rizosfer Tanaman Kopi (*Coffea* sp.) Terhadap Pertumbuhan Jamur Penyebab Busuk Buah Kopi (*Coffea* sp.). *JURNAL BIOS LOGOS*, 12(1), 16-24.
- Mariati, R., Tetty, W., Heru, M. 2020. Prospek Pengembangan Perkebunan Karet (*Hevea brasiliensis*) Rakyat di Desa Margahayu Kecamatan Loa Kulu Kabupaten Kutai Kartanegara. *ZIRAAA'H*. 45(1): 80–93.
- Mastouri, F., Björkman, T., & Harman, G. E. 2012. *Trichoderma harzianum* enhances antioxidant defense of tomato seedlings and resistance to water deficit. *Molecular plant-microbe interactions*, 25(9): 1264-1271.
- Nuraida, N., Hutagaol, D., & Nasution, A. S. 2021. Pembuatan Biofungisida di Desa Hutagaol Simarmar Balige Kabupaten Tobasa. *Jurnal Derma Pengabdian Dosen Perguruan Tinggi (Jurnal DEPUTI)*, 1(1): 6-9.
- Papavizas, G.C., 1985. Trichoderma and Gliocladium Biology, Ecology and Potential for Biocontrol. *Annual Review of Phytopathology*, 23(1): 23 – 54
- Paramastri, P. K., & Qurrohman, M. T. 2022. Efektifitas Ekstrak Lidah Mertua (*Sansevieria trifasciata* var *laurentii*) Sebagai Antifungi *Candida albicans*. *The Journal Of Muhammadiyah Medical Laboratory Technologist*, 5(2): 149-158.
- Putra, F., Sari, D., & Mutiara, F. 2022. Analisis Prospek Karet (*Hevea brasiliensis*) di Indonesia Tahun 2045 Menyambut 100 Tahun Indonesia Merdeka (Analysis of Rubber Prospect in Indonesia to Celebrating 100 Years of Indonesian Independence in 2045). Available at SSRN.

- Putri, N. U., Suriaatmaja, M. E., & Maryam, S. 2022. Kontribusi Pendapatan Usahatani Karet (*Hevea Brasilliensis*) Terhadap Pendapatan Rumah Tangga Petani di Sekitar Kawasan Delta Mahakam Kecamatan Muara Badak Kabupaten Kutai Kartanegara. In *Prosiding Seminar Nasional Hasil Penelitian Agribisnis*, 6(1): 301-307.
- Priyadi, Y. F. A., Hani, E. S., & Saito, Y. 2022. Partnership Impact on Production and Income of Indonesia Rubber Farmers. *Economics Development Analysis Journal*, 11(3): 381-393.
- Rachman, I. 2022. Pengembangan Hutan Tanaman Rakyat di Wilayah KPHP Model Dampelas Tinombo Desa Karya Mukti Kecamatan Dampelas Kabupaten Donggala. *Agroland: Jurnal Ilmu-ilmu Pertanian*, 29(1): 13-23.
- Ramli, N. 2004. Petunjuk Teknis pada Berbagai Kegiatan Laboratorium Lapangan. Balai Pengembangan Proteksi Tanaman Perkebunan Sumatera Utara. Medan. *Jurnal Agrotek Tropika* 8(2): 235-246,
- Rahmiati, R., Karim, A., & Fauziah, I. 2020. Isolasi dan uji antagonis *Trichoderma* terhadap *Fusarium oxysporum* secara in vitro. *JBIO: jurnal biosains (the journal of biosciences)*, 6(1): 18-22.
- Rezki, D., Efendi, S., Noverta, A., Edwin, E., Yulistriani, Y., & Kumala, W. 2019. Pemberdayaan Petani dalam Penangkaran Bibit Karet Ber-*Trichoderma harzianum* sebagai Upaya Pengendalian Penyakit Jamur Akar Putih. *Madani: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*. 4(2): 61-65.
- Riani, P., & Futeri, R. 2023. Penentuan Jenis Media Terhadap Efektivitas Pertumbuhan Jamur *Trichoderma Harzianum*. *Jurnal Kimia Saintek Dan Pendidikan*. 7(1), 27-34.
- Rifai, A. 1969. A revision of the genus *Trichoderma*. *Mycological Papers*. 11(6):1-56.
- Sari, D. N. R. 2022. Aktivitas Antifungi Ekstrak Jantung Pisang *Musa Pradisiaca formatypica* Terhadap Pertumbuhan *Trichoderma viridae*. *Journal of Natural Sciences and Learning*. 1(1): 37-44.
- Saubari, M., Budi, I. S., & Rosa, H. O. 2019. Kotoran Kambing Etawa sebagai Media Aplikatif *Trichoderma harzianum* untuk Mengendalikan Penyakit Jamur Akar Putih pada Tanaman Karet. *Jurnal Proteksi Tanaman Tropika*. 2(1): 81-85.
- Sirait, D. D. N. 2022. Uji Antagonisme Jamur *Trichoderma* sp. terhadap *Rigidoporus lignosus* pada Asal Tanaman Karet secara In Vitro

- Trichoderma sp. Antagonism Test. against *Rigidoporus lignosus* in Rubber Plant Origin In Vitro. *Jurnal Penelitian Agronomi*. 21(1): 43-49
- Siregar, B. A., Kasim, N. N., & Farida, N. 2020. Isolasi Dan Karakterisasi Biologi Bakteri Endofit, Filosfer Dan Rizosfer Dari Tanaman Sagu (*Metroxylon sagu*). In *Prosiding Seminar Nasional Biotik*. 8(1): 335-340
- Sudantha, I. M. 2018. Identifikasi Jamur Antagonis Dan Potensinya Sebagai Agen Pengendalian Hayati Jamur Akar Putih (*Rigidoporus microporus*) Pada Jambu Mete. *AGROTEKSOS*.13(3): 92-102.
- Suharni, Y., Hakim, L., & Susanna, S. 2023. Pengaruh Beberapa Media terhadap Pertumbuhan *Trichoderma harzianum* Isolat Lokal asal Pala. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 8(2): 512-522.
- Syam, N., Utami, W. P., Hidrawati, H., & Suryanti, S. 2023. Analisis Metode Perbanyakan Jamur *Trichoderma harzianum* Pada Beberapa Jenis Media Tumbuh. *Biofarm: Jurnal Ilmiah Pertanian*, 19(1): 94-102.
- Tjenemundan, D. 2021. Laju pertumbuhan dan morfologi koloni jamur akar putih pada tanaman karet. <https://osf.io/fyhd7/download>. Diakses pada tanggal 08 April 2023
- Wang, Z., Sui, Y., Li, J., Tian, X., & Wang, Q. 2022. Biological control of postharvest fungal decays in citrus: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 62(4): 861-870.
- Wulandari, P., Laapo, A., & Tangkesalu, D. 2022. Strategi Pengembangan Usaha Perkebunan Karet Di Kecamatan Lembo Raya Kabupaten Morowali Utara. *Agrotekbis: E-Jurnal Ilmu Pertanian*.10(5): 643-653.
- Yastanto, A. J. 2020. Karakteristik Pertumbuhan Jamur pada Media PDA dengan Metode Pour Plate. *Indonesian Journal of Laboratory*. 2(1): 33-39.
- Yulia, E. Y., Istifadah, N., Widiyanti, F., & Utami, H. S. 2017. Antagonisme *Trichoderma* spp. terhadap Jamur *Rigidoporus microporus* (Klotzsch) Imazeki dan Penekanan Penyakit Jamur Akar Putih pada Tanaman Karet. *Agrikultura*. 28(1).

LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil analisis ANOVA data kerapatan konidia jamur *T. harzianum* pada variasi masa simpan yang berbeda.

		ANOVA				
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Hari Ke 0	Between Groups	.018	4	.004	1.585	.309
	Within Groups	.014	5	.003		
	Total	.031	9			
Hari Ke 15	Between Groups	.243	4	.061	1.364	.365
	Within Groups	.223	5	.045		
	Total	.466	9			
Hari Ke 30	Between Groups	.020	4	.005	.687	.631
	Within Groups	.037	5	.007		
	Total	.057	9			
Hari Ke 45	Between Groups	.160	4	.040	.906	.525
	Within Groups	.220	5	.044		
	Total	.380	9			
Hari Ke 60	Between Groups	.085	4	.021	3.050	.012
	Within Groups	.035	5	.007		
	Total	.119	9			

Keterangan : Sig < 0,05 (Berbeda Nyata)

Lampiran 2. Hasil analisis ANOVA uji viabilitas spora jamur *T. harzianum*

ANOVA					
Viabilitas	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	580.896	4	145.224	42.763	.000
Within Groups	33.960	10	3.396		
Total	614.856	14			

Keterangan : Sig < 0,05 (Berbeda Nyata)

Lampiran 3. Hasil analisis ANOVA uji anatagonis jamur *T. harzianum* terhadap jamur *R. microporus* pengamatan hari ke 7, 14, 21

ANOVA					
Diameter Hari Ke 7					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2030.889	20	101.544	3.857	.000
Within Groups	1105.833	42	26.329		
Total	3136.722	62			

Keterangan : Sig < 0,05 (Berbeda Nyata)

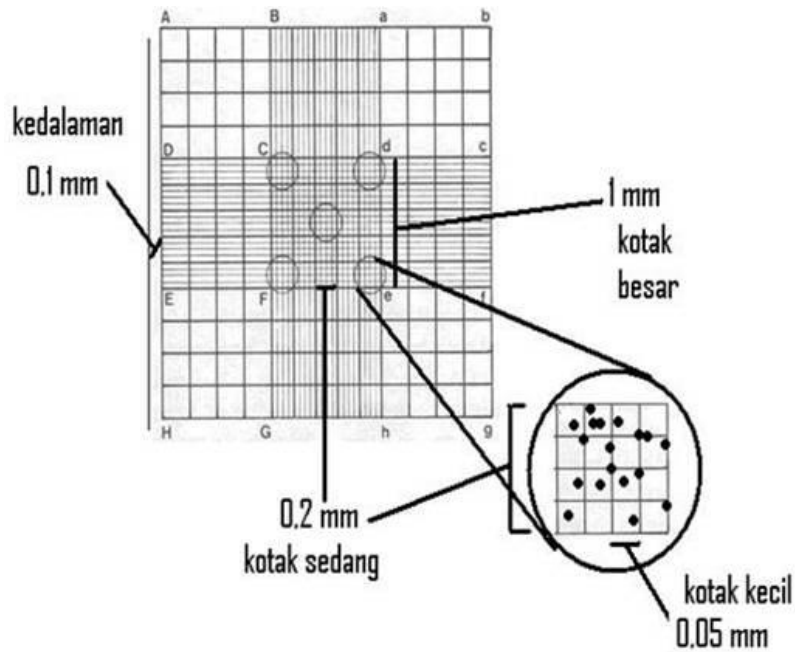
ANOVA					
Diameter Hari Ke 14					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2904.079	20	145.204	4.469	.000
Within Groups	1364.500	42	32.488		
Total	4268.579	62			

Keterangan : Sig < 0,05 (Berbeda Nyata)

ANOVA					
Diameter Hari Ke 21					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4264.079	20	213.204	8.953	.000
Within Groups	1000.167	42	23.813		
Total	5264.246	62			

Keterangan : Sig < 0,05 (Berbeda Nyata)

Lampiran 4. Mekanisme contoh perhitungan kerapatan konidia jamur *T. harzianum*



Gambar 6. Kotak Hitung Alat Hemasitometer

Diketahui :

Total Konidia pada 5 Kotak Sampel Kecil = 45 Konidia
 Rata-rata konidia per kotak = 9 Konidia
 Tingkat Pengenceran = 10^{-1}

Ditanya : Kerapatan Konidia ?

Jawab

$$\begin{aligned}
 \text{Kerapatan Konidia} &= \frac{\text{Rata-rata jumlah spora} \times d \times 10^6}{0,0025 \times 16} \\
 &= \frac{9 \times 10^{-1} \times 10^6}{0,0025 \times 16} \\
 &= \frac{9 \times 10^5}{0,0025 \times 16} \\
 &= 225 \times 10^5 \\
 \text{Kerapatan Konidia} &= \mathbf{2,25 \times 10^7}
 \end{aligned}$$

Lampiran 5. Mekanisme contoh perhitungan viabilitas konidia jamur *T. harzianum*

$$V = \frac{g}{g + u} \times 100\%$$

Keterangan :

V = Persentase konidia yang berkecambah

g = Jumlah rata-rata konidia yang berkecambah

u = Jumlah rata-rata konidia yang tidak berkecambah

Diketahui :

Jumlah rata-rata konidia yang berkecambah = 76 Konidia

Jumlah rata-rata konidia yang tidak berkecambah = 56 Konidia

Ditanya : Viabilitas Spora Konidia ?

Jawab

$$\begin{aligned} \text{Viabilitas Spora} &= \frac{g}{g+u} \times 100\% \\ &= \frac{76 \text{ Konidia}}{76 \text{ Konidia} + 56 \text{ Konidia}} \times 100\% \\ &= \frac{76 \text{ Konidia}}{132 \text{ Konidia}} \times 100\% \\ \text{Viabilitas Spora} &= \mathbf{57,60 \%} \end{aligned}$$

Lampiran 6. Mekanisme contoh perhitungan diameter zona hambat jamur *T. harzianum* terhadap *R. microporus*

Berikut rumus perhitungan zona hambat :

$$ZH = \frac{(Dv-Dc)+(Dh-Dc)}{2}$$

Keterangan:

ZH = Zona Hambat Antifungi

Dv = Diameter Vertikal

Dh = Diameter Horizontal

Dc = Diameter Cakram

Diketahui :

Diameter Vertikal = 22 mm

Diameter Horizontal = 26 mm

Diameter Cakram = 6 mm

Ditanya : Diameter Zona Hambat ?

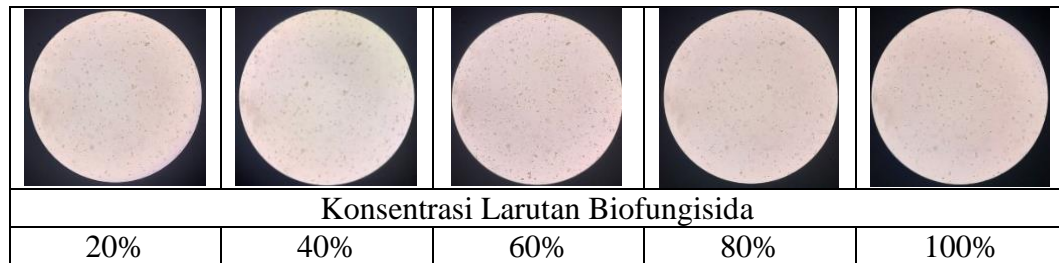
Jawab

$$ZH = \frac{(22-6)+(26-6)}{2}$$

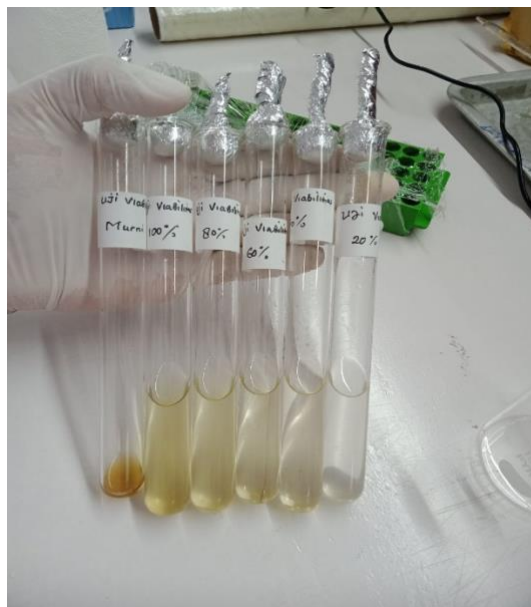
$$ZH = \frac{(16)+(20)}{2}$$

$$\mathbf{ZH = 18 mm}$$

Lampiran 7. Dokumentasi Hasil Pengamatan kerapatan konidia dan contoh sampel












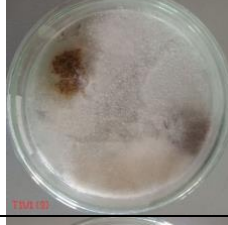
























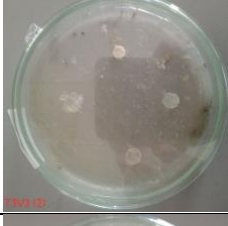




Gambar 7. Kerapatan konidia jamur *T. harzianum* menggunakan hemasitometer
























Gambar 8. Sampel uji viabilitas spora

Lampiran 8. Dokumentasi pengamatan zona hambat biofungisida *T. harzianum* terhadap jamur *R. microporus* secara *in vitro*

Perlakuan	Ulangan		
	I	II	III
T0V1			
T0V2			
T0V3			
T1V1			
T1V2			
T1V3			

T2V1			
T2V2			
T2V3			
T3V1			
T3V2			
T3V3			
T4V1			

T4V2			
T4V3			
T5V1			
T5V2			
T5V3			
T6V1			
T6V2			

T6V3

