

**PENGEMBANGAN FORMULASI *Coating* BENIH CABAI
MENGUNAKAN TEKNOLOGI NANO
BERBASIS JAMUR *Trichoderma asperellum***

SKRIPSI



Disusun oleh:

Sipa Fauziah

061120021

**PROGRAM STUDI BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS PAKUAN
BOGOR
2024**

**PENGEMBANGAN FORMULASI *Coating* BENIH CABAI
MENGUNAKAN TEKNOLOGI NANO
BERBASIS JAMUR *Trichoderma asperellum***

SKRIPSI

Dianjukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains pada

Program Studi Biologi

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Disusun oleh:

Sipa Fauziah

061120021

**PROGRAM STUDI BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS PAKUAN
BOGOR
2024**

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : Pengembangan Formulasi *Coating* Benih Cabai Menggunakan Teknologi Nano Berbasis Jamur *Trichoderma asperellum*.
Nama : Sipa Fauziah
NPM : 061120021

Skripsi ini telah diperiksa dan disetujui pada:

Bogor, Juli 2024

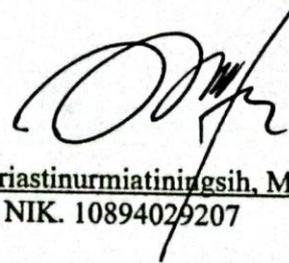
Menyetujui,

Pembimbing Pendamping



Dr. Titik Kartika, M.Agr
NIP. 198004162005022001

Pembimbing Utama



Dra. Triastinurmiatiningsih, M.Si
NIK. 10894029207

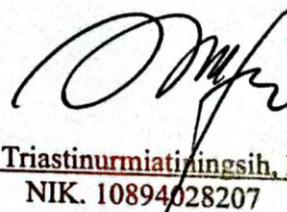
Mengetahui,



Dekan FMIPA
Universitas Pakuan

Asep Denih, S.Kom., M.Sc., Ph.D.
NIK. 10997004090

Ketua Program Studi Biologi
FMIPA Universitas Pakuan



Dra. Triastinurmiatiningsih, M.Si
NIK. 10894028207

**PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI
SERTA PELIMPAHAN KEKAYAAN INTELEKTUAL DI UNIVERSITAS
PAKUAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Sipa Fauziah
NPM : 061120021
Judul Skripsi : Pengembangan Formulasi *Coating* Benih Cabai
Menggunakan Teknologi Nano Berbasis Jamur
Trichoderma asperellum

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi diatas benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi manapun.

Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka dibagian akhir skripsi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Universitas Pakuan.

Bogor, Juli 2024



Sipa Fauziah

NPM.061120021

LEMBAR PERSEMBAHAN

Assalamu'alaikum Warohmatullahi Wabarokatuh

Alhamdulillahalhamdulillahirobi'alamin

Aku ucapkan syukur kepada-Mu ya Allah Engkau telah memberikan kesempatan sehingga aku bisa menyelesaikan skripsi ini.

Tiada lembar yang paling indah dalam laporan skripsi ini kecuali lembar persembahan. alhamdulillahirobi'alamin, dengan mengucapkan syukur atas rahmat Allah SWT dan sebagai ucapan terimakasih skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Cinta pertama dan panutanku, ayahanda Puloh beliau memang tidak di berikan rezeki atau kesempatan untuk merasakan Pendidikan sampai di bangku perkuliahan. Namun beliau bekerja keras serta mendidik, memberikan motivasi, senantiasa mendampingi dan memberikan dukungan sehingga aku bisa menyelesaikan studi sampai sarjana ini. Tolong hiduplah lebih lama lagi temani jalan ku yang masih panjang ini sampai aku bisa membahagiakan dan membalas segala pengorbanan yang diberikan kepadaku.
2. Pintu surgaku, ibunda Tati yang mana telah melahirkan dan membesarkan aku, hingga saat ini. Yang tak pernah bosan dalam bekerja keras dan berdoa untuk kebaikan masa depanku. Beliau tidak pernah membuat saya merasa kesusahan, beliau selalu berusaha memberikan semua yang saya butuhkan dari awal masuk bangku perkuliahn sampai akhirnya perkulihan . Beliaulah ibu yang selalu ada di setiap prosesku dan doamu yang seelau menyertaiku hanya Allah yang bisa membalas segala beaikan kalian kedua orang tua ku.
3. Aku ingin berterimakasih sudah bertahan sampai saat ini, terimakasih sudah kuat, sudah selalu berjuang hingga akhirnya sampai digaris finish dapat menyelesaikan dengan baik dan tepat waktu. Aku sangat bangga padamu, terimakasih untuk semuanya, mari kita perjuangkan mimpi dan harapan yang lainnya. Dan harus selalu tetap berperasangka baik atas takdir dan ketetapanya.
4. Kepada kakak-kakak ku, khususnya Sopi Yalatul Majidah, S.Pd yang selalu membantu saya dalam hal apapun untuk mengejar garis finish ini, terimakasih

sudah selalu ada dan berusaha memberikan yang terbaik untuk adiknya. Terimakasih kepada Caca dan Alya yang selalu mau membantu saya disaat saya membutuhkan bantuan pada saat program studi ini.

5. Dosen pembimbing Ibu Triastinurmiatiningsih, M.Si dan Ibu Titik Kartika, M.Agr yang sudah membimbing saya dalam penelitian dan penyusunan skripsi sehingga dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu. Terimakasih atas semua ilmu dan motivasi yang sudah di berikan.
6. Seluruh dosen Biologi, staf akademik, laboran, dekanat dan staf tata usaha FMIPA Universitas Pakuan. Terimakasih atas ilmu, pelajarann dan motivasi yang sudah diberikan selama masa perkuliahan.
7. Terimakasih kepada para sahabat ku yang sangat amat aku sanyangi My Trip Class Menuju Wisuda, aku sangat bersyukur karena kalian masa perkuliahan ku begitu indah dan menyenangkan. Dari kalian aku banyak belajar tentang persahabatan yang sehat yang tidak ada kata bersaing atau saling menjatuhkan. Setiap orang kita rayakan dan kita dukung. Terimakasih sudah kebersamai masa perkuliahan selama 4 tahun ini suka duka kita lewati dan saling dukung bersama, kebaikan apapun yang telah kalian lakukan untukku akan selalu aku ingat. Semoga Allah membalas kebaikan kalian.
8. Sahabat terdekat aku yaitu bela, aku sangat berterimakasih sudah selalu sabar, dan selalu mau membantu disaat aku membutuhkan bantuan, mau menjadi orang terdepan jika ada orang yang mengganguku, mau memaafkan kesalahan-kesalahanku. Semoga persahabatan kita akan terus terjalin.
9. Sahabat yang paling tau dan paham rasa lelah dan letih nya berjuang demi selesainya skripsi ini yaiu serli, terimakasih banyak telah jadi teman bertukar cerita, saling memotivasi dan saling menguatkan satu sama lain.
10. Terimakasih untuk delia teman satu kosan yang sudah mau menerima aku untuk menginap pada saat sidang-sidang di akhir semester 8 ini. Terimakasih sudah menganggap aku seperti saudara sendiri tanpa ada rasa canggung.
11. Terimakasih kepada semua pihak dan orang-orang yang tidak bisa disebutkan satu-persatu yang telah membantu dan mendukung aku sehingga bisa menyelesaikan skripsi ini.

RIWAYAT HIDUP



Sipa Fauziah, Cianjur 18 Desember 2001. Bersaudara dari pasangan bapak Puloh dan ibu Tati . Mulai memasuki pendidikan formal pada tahun 2008 di SDN Bina Budi dan lulus pada tahun 2014 melanjutkan pendidikan di MTsN 1 Cianjur lulus pada tahun 2017, kemudian melanjutkan pendidikan di Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pakuan Bogor. Selama menjalani pendidikan di Universitas Pakuan Bogor Penulis aktif di organisasi Himpunan Mahasiswa Biologi, Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM), lalu aktif di organisasi Badan Legislatif Mahasiswa (BLM).

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT. Yang telah memberikan rahmat dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan hasil penelitian dengan judul “Pengembangan Formulasi *Coating* Benih Cabai Menggunakan Teknologi Nano Berbasis Jamur *Trichoderma asperellum*”. Hasil penelitian ini dibuat untuk memenuhi persyaratan gelar Sarjana Sains Bidang Ilmu Biologi Universitas Pakuan, Bogor. Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini, ucapan terimakasih disampaikan kepada:

1. Dra Triastinurmiatiningsih, M,Si selaku pembimbing utama dan Dr. Titik Kartika, M.Agr selaku pembimbing pendamping yang telah memberikan bimbingan, ilmu dan saran yang membangun dalam menyelesaikan penulisan hasil penelitian.
2. Dra. Triastinurmiatiningsih, M,Si selaku Ketua Program Studi Biologi FMIPA Universitas Pakuan yang telah memberikan saran dan masukan yang membangun dalam penulisan hasil penelitian.
3. Asep Denih, S.Kom., M.Sc., Ph.D. selaku Dekan FMIPA Universitas Pakuan.
4. Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), *Integrated Laboratory of Bioproduct* (iLaB), Pusat Riset Biomaterial. Cibinong selaku lembaga tempat melakukan penelitian.

Dalam penulisan hasil penelitian ini masih terdapat kekurangan, maka penulis mengharapkan adanya saran dan kritik yang membangun dari semua pihak yang membaca demi kesempurnaan hasil penelitian ini. Atas dukungan dan bantuan dari semua pihak, penulis ucapkan terimakasih.

Bogor, Juli 2024

Sipa Fauziah

NPM.061120021

RINGKASAN

SIPA FAUZIAH, NPM: 0611020021, Judul: Pengembangan Formulasi *Coating* Benih Cabai Menggunakan Teknologi Nano Berbasis Jamur *Trichoderma asperellum*. Dibimbing Oleh Dra. Triastinurmiatiningsih, M.Si. dan Dr. Titik Kartika, M.Agr.

Cabai merupakan komoditas pertanian unggulan di Indonesia, namun sering menghadapi penurunan produktivitas akibat serangan hama dan penyakit. Secara historis, pengendalian hama bergantung pada pestisida kimia, tetapi pemakaian berlebih menyebabkan resistensi pada hama dan serangga sehingga, mengurangi efektivitas pestisida tersebut. Salah satu alternatif yang bisa digunakan adalah pemanfaatan jamur *Trichoderma asperellum* sebagai *seed coating* pada tanaman cabai.

Dalam penelitian ini dilakukan pengembangan formulasi *seed coating* berbasis jamur *Trichoderma asperellum* menggunakan teknologi nano. Kegiatan penelitian dilakukan dengan melakukan uji kompatibilitas jamur *Trichoderma asperellum*, dengan campuran formulasi yang digunakan, uji viabilitas dan vigor benih cabai yang telah dilakukan *coating* menggunakan formulasi *seed coating*. Rancangan yang digunakan pada penelitian ini yaitu Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 3 perlakuan (10, 25, dan 50 mg/mL) dengan 4 ulangan. Data yang diperoleh diolah menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA) dan jika berbeda nyata dilanjutkan dengan uji *Duncan's* pada taraf signifikansi 95%.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa hasil analisis ragam pada uji kompatibilitas jamur *Trichoderma asperellum* dengan campuran formulasi menunjukkan hasil yang positif atau kompetibel sehingga formulasi dapat digunakan untuk *seed coating* menggunakan teknologi nanopartikel. Formulasi *seed coating* menggunakan teknologi nanopartikel memberikan respon yang positif pada hasil rata-rata potensi tumbuh maksimum, daya berkecambah, indeks vigor dan keserempakan tumbuh pada benih cabai. Pada konsentrasi 25 mg/mL formulasi *coating* memberikan hasil yang optimal terhadap viabilitas dan vigor benih cabai.

SUMMARY

SIPA FAUZIAH, NPM: 0611020021, Judul: Pengembangan Formulasi Coating Benih Cabai Menggunakan Teknologi Nano Berbasis Jamur *Trichoderma asperellum*. Dibimbing Oleh Dra. Triastinurmiatiningsih, M.Si. dan Dr. Titik Kartika, M.Agr.

Chili peppers are a leading agricultural commodity in Indonesia, but they often face productivity declines due to pest and disease attacks. Historically, pest control has relied on chemical pesticides, but excessive use has led to resistance in pests and insects, reducing the effectiveness of these pesticides. One alternative that can be used is the utilization of the fungus *Trichoderma asperellum* with a nano-technology approach as a seed coating for chili plants.

This study developed a seed coating formulation based on the fungus *T. asperellum* using nano-technology. The research activities included testing the compatibility of *T. asperellum* with the formulation mixture used, and testing the viability and vigor of chili seeds coated with the seed coating formulation. The design used in this study was a Completely Randomized Design (CRD) with 3 treatments (10, 25, and 50 mg/mL) and 4 replications. The data obtained were processed using Analysis of Variance (ANOVA) and, if significantly different, followed by Duncan's test at a 95% significance level.

The results of this study showed that the analysis of variance on the compatibility test of *T. asperellum* with the formulation mixture showed positive or compatible results, indicating that the formulation can be used for seed coating using nanoparticle technology. The seed coating formulation using nanoparticle technology provided a positive response in terms of maximum growth potential, germination rate, vigor index, and uniformity of growth in chili seeds. At a concentration of 25 mg/mL, the coating formulation provided optimal results for the viability and vigor of chili seeds.

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TULIS	ii
LEMBAR PERSEMBAHAN	iii
RIWAYAT HIDUP	v
KATA PENGANTAR	vi
RINGKASAN	vi
SUMMARY	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	2
1.3 Manfaat	3
1.4 Hipotesis	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Teknologi Nanopartikel	4
2.2 <i>Seed Coating</i>	5
2.3 Cabai Merah	6
2.4 Jamur <i>Trichoderma asperellum</i>	7
2.5 OPT (Organisme Pengganggu Tanaman)	8
2.6 Kitosan	9
2.7 Sodium Tripolyphosphate (STPP)	10
2.8 <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	10
BAB III BAHAN DAN METODE PENELITIAN	12
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	12
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	12
3.3 Metode Penelitian	12

3.3.1	Persiapan Alat dan Bahan	12
3.3.2	Persiapan Isolat Jamur <i>Trichoderma asperellum</i>	12
3.3.3	Perbanyakkan Jamur <i>Trichoderma asperellum</i>	13
3.3.4	Preparasi Bioprotektan	13
3.3.5	Uji Kompatibilitas Jamur Endofit dengan Formulasi Nanopartikel CH/STPP	13
3.3.6	Perhitungan Spora Jamur	14
3.3.7	Persiapan Formulasi Nanopartikel (CH /STPP).....	15
3.3.8	Proses <i>Seed Coating</i> dengan Formulasi Nanopartikel CH/STPP ..	15
3.3.9	Karakterisasi Formulasi <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)....	16
3.3.10	Asesmen Formulasi Nanopartikel CH/STPP	16
3.4	Parameter Penelitian.....	16
3.5	Rancangan Penelitian	17
3.6	Analisis Data	18
3.7	Bagan Penelitian.....	18
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		19
4.1	Uji Kompatibilitas	19
4.2	Uji Ukuran Partikel.....	22
4.3	Viabilitas Perkecambahan	23
4.2.1	Potensi Tumbuh Maksimum	24
4.2.2	Daya Berkecambah	25
4.4	Vigor.....	26
4.3.1	Indeks vigor.....	26
4.3.2	Keserempakan Tumbuh Benih.....	27
4.5	Panjang Akar	28
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		30
5.1.	Kesimpulan.....	30
5.2.	Saran	30
DAFTAR PUSTAKA		31
LAMPIRAN.....		37

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Pertumbuhan Jamur <i>T. asperellum</i> pada Media PDA	19
2. Rata-rata Potensi Tumbuh Maksimum Perkecambahan Benih Cabai.....	24
3. Rata-rata Daya Berkecambah Benih Cabai.....	25
4. Indeks Vigor Perkecambahan Benih Cabai.....	27
5. Rata-Rata Keserempakan Tumbuh Benih Cabai.....	27
6. Rata-rata Panjang Akar Pada Perkecambahan Benih Cabai	28

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Tanaman Cabai (<i>Capcicum annum</i>)	6
2. Pertumbuhan Koloni Jamur <i>Trichoderma asperellum</i> di hari Ke-7	21
3. Bentuk morfologi spesies <i>Trichoderma asperellum</i>	22
4. <i>T. asperellum</i> dibawah <i>scanning mikroskop elektron</i>	23
5. Panjang Akar Tanaman Cabai	29

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Data Hasil Pengamatan Uji Kompatibilitas	37
2. Gambar Hasil Pengamatan Uji Kompatibilitas	38
3. Gambar Kerapatan Spora	40
4. Hasil Perhitungan Kerapatan Spora Jamur <i>Trichoderma</i>	41
5. Hasil Uji Ukuran Formulasi Nano Partikel	41
6. Hasil Uji ANOVA dan Uji Lanjut Duncan	42
7. Hasil Karakteristik SEM	45
8. Keadaan Visual Bibit Cabai Sesudah Diberikan Perlakuan.....	46
9. Keadaan Visual Akar Benih Cabai Hari Ke-14.....	47
10. Dokumentasi Penelitian	48

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Cabai merupakan salah satu komoditas penting yang menjadi perhatian. Produktivitas cabai mengalami penurunan yang berdampak kurangnya suplai cabai yang tidak sebanding dengan kebutuhan cabai yang semakin meningkat setiap tahunnya. Terdapat beberapa keterbatasan dalam produksi cabai, salah satunya adalah kejadian hama dan penyakit pada budidaya cabai (Setiyowati dkk., 2007). Sejauh ini, usaha pengendalian yang dilakukan berupa pengendalian menggunakan pestisida kimia namun, dapat menimbulkan resistensi serangga hama terhadap bahan aktif pestisida yang digunakan (Liswarni & Nurbailis., 2018).

Salah satu alternatif pengendalian yang bisa dilakukan yaitu pemanfaatan agen hayati mikroorganisme yang sekaligus berperan penting dalam induksi pertumbuhan tanaman seperti jamur *Trichoderma asperellum* / (TS1T5). Jamur ini memiliki sifat antagonis terhadap (OPT) tanaman cabai dan memiliki aktivitas bioremediasi residu pestisida di tanah (belum dipublikasi). Isolat jamur *Trichoderma* diketahui memiliki aktivitas antimikroba pada beberapa tanaman, seperti padi dan strawberry (Harsonowati *et al.*, 2020). *T. asperellum* merupakan jenis endofit yang umum dijumpai pada area rhizosfer tanaman yang berinteraksi dan mengkolonisasi akar tanaman (Soesanto dkk., 2013). Tidak hanya pada bagian akar Saputra., (2019) menunjukkan bahwa cendawan *T. asperellum* mampu meningkatkan tinggi tanaman cabai. Selain mampu menekan pertumbuhan penyakit tanaman, jamur endofit juga diketahui memiliki aktivitas *biofertilizer* dan bioremediasi bahan toksik di tanah (Surono & Narisawa, 2017). Aktivitas *biofertilizer* ini dapat dilihat pada aktivitas perakaran tanaman yang menyerap unsur hara lebih banyak.

Salah satu metode untuk membawa agen hayati masuk kedalam benih yaitu menggunakan teknik *seed coating*, yaitu, metode pelapisan benih yang berfungsi sebagai pembawa zat aditif yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas benih dengan bahan adiktif tertentu. Jamur *T. asperellum* merupakan

salah satu kelompok *Plant Growth Promoting Microorganisms* (PGPM) yaitu agen hayati yang dapat menginduksi pertumbuhan tanaman sehingga bersifat prospektif untuk dikembangkan dalam teknologi *seed coating* (Etesami & Maheswari., 2018; Gouda *et al.*, 2018). Inokulasi benih dengan mikroba penginduksi pertumbuhan tanaman tersebut merupakan cara yang efisien untuk mengintroduksi mikroba pada tanah, terutama bagian perakaran tanaman sehingga tanaman menjadi lebih tahan terhadap serangan organisme perusak tanaman. Perlindungan benih secara tidak langsung dapat meningkatkan ketahanan tanaman dan mencegah serangan hama dan penyakit tanaman (Liswarni & Nurbailis., 2018).

Pada penelitian ini dikembangkan teknologi nanopartikel yang diketahui mampu melindungi benih tanaman dari OPT (Lowry *et al.*, 2019; Mahakham *et al.*, 2017). Nanopartikel dapat berperan sebagai stimulant metabolisme benih, ketahanan benih dan pertumbuhan tanaman (Mahakham *et al.*, 2017). Ukuran partikel yang kecil memungkinkan distribusi bahan aktif secara merata dan efisien pada organisme target sehingga prospektif untuk bahan campuran pestisida dengan mengurangi kebutuhan bahan aktif dalam formulasi pestisida. Selain itu, nanopestisida memiliki resiko yang rendah terhadap organisme non target dengan performa yang lebih stabil. Pemanfaatan teknologi nano untuk perlindungan benih, terutama cabai, belum banyak dilakukan dalam industri pertanian, namun telah menunjukkan hasil yang prospektif untuk dikembangkan (Divya dkk., 2019).

Selain dapat menghasilkan benih cabai tahan hama penyakit dengan produktivitas tinggi, riset ini diharapkan dapat sekaligus mereduksi penggunaan bahan kimia berbahaya dalam budidaya cabai sehingga sinergis dengan prinsip pertanian berkelanjutan dan ketahanan pangan.

1.2 Tujuan

1. Menganalisis kompatibilitas jamur *T. asperellum* dalam formulasi *coating* menggunakan teknologi nanopartikel.
2. Menganalisis viabilitas dan vigor benih cabai yang telah dilakukan *coating* menggunakan formulasi nanopartikel.

3. Mendapatkan formulasi *coating* paling optimal menggunakan teknologi nanopartikel dalam meningkatkan viabilitas dan vigor benih cabai.

1.3 Manfaat

Penelitian ini dapat memberikan informasi mengenai pemanfaatan teknologi nano dan dapat menjadi prototipe benih cabai terformulasi nano *coating*.

1.4 Hipotesis

Hipotesis yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Formulasi *coating* benih dengan teknologi nano dapat kompatibel dengan jamur *T. asperellum*.
2. Teknologi nano dapat digunakan untuk *coating* benih cabai sehingga mampu menginduksi perkecambahan dan mendukung pertumbuhan benih cabai.
3. Terdapat formulasi *coating* menggunakan teknologi nanopartikel yang paling optimal dalam meningkatkan viabilitas dan indeks vigor benih cabai.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teknologi Nanopartikel

Nano teknologi pertanian telah mendapatkan perhatian besar akhir-akhir ini karena kemampuannya dalam menyediakan pengelolaan molekuler terhadap cekaman biotik dan abiotik, deteksi penyakit secara cepat dan mudah, serta sistem penyampaian pupuk dan pestisida. Nanoteknologi adalah teknologi yang menggunakan molekul berukuran kurang dari 1000 nanometer (Fitri dkk., 2020). Meskipun pemanfaatan material berukuran nano mempunyai banyak manfaat, penggunaan teknologi ini tetap harus cermat karena peningkatan kontak permukaan nano dengan tanaman dapat menimbulkan efek toksik yang tidak terjadi pada partikel dengan ukuran lebih besar. Akibatnya, untuk menghasilkan nanopartikel, disarankan untuk menggunakan bahan yang tidak beracun.

Teknologi ini berasal dari bidang *sains* yang dikembangkan untuk menyelesaikan permasalahan dalam bidang pertanian dan kesehatan. Ilmu nano dan teknologi melibatkan, mempelajari dan bekerja dengan skala sangat kecil yang memungkinkan untuk bekerja, memanipulasi, dan membuat alat, bahan, dan struktur pada tingkat molekuler, bahkan sampai ukuran atom menjadi struktur fungsional yang memiliki dimensi nanometer (Abdul dkk., 2023). Pemanfaatan teknologi nano untuk perlindungan benih merupakan inovasi di industri pertanian yang telah menunjukkan hasil yang prospektif.

Teknologi nano merupakan salah satu teknologi yang tergolong baru terutama di bidang pertanian. Menurut Rastogi *et al.*, (2019) nanopartikel dapat menjadi pilihan yang lebih ramah lingkungan daripada produk kimia yang merusak alam. Bahan nanopartikel diketahui mampu melindungi benih tanaman dari OPT (Lowry *et al.*, 2019; Mahakham *et al.*, 2017). Nanopartikel dapat berperan sebagai stimulan metabolisme benih, ketahanan benih dan pertumbuhan tanaman (Lowry *et al.*, 2019., 2020; Mahakham *et al.*, 2017). Ukuran partikel yang kecil memungkinkan distribusi bahan aktif secara merata dan efisien pada organisme target sehingga prospektif untuk dikembangkan

sebagai bahan campuran pestisida dengan mengurangi kebutuhan bahan aktif dalam formulasi pestisida. Nanopartikel merupakan partikel dengan diameter 1-1000 nm (Kurniasari & Atun 2017).

Selain itu, nanopestisida memiliki resiko yang rendah terhadap organisme non target dengan performa yang lebih stabil. Pemanfaatan teknologi nano untuk perlindungan benih, terutama cabai, belum banyak dilakukan dalam industri pertanian, namun telah menunjukkan hasil yang prospektif untuk dikembangkan. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Divya dkk., (2019) benih yang diberi perlakuan menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan kontrol yang tidak diberikan perlakuan yaitu memberikan peningkatan pertumbuhan tertinggi.

2.2 Seed Coating

Seed coating juga dikenal sebagai pelapisan benih, adalah salah satu metode untuk membawa agen hayati masuk ke dalam benih. *Seed Coating* juga merupakan salah satu metode *enhancement*, yakni metode untuk memperbaiki mutu benih menjadi lebih baik dengan penambahan bahan kimia maupun alami pada *coating* yang dapat mengendalikan dan meningkatkan perkecambahan. *Seed coating* dapat diartikan juga sebagai proses untuk melindungi benih dari gangguan atau pengaruh lingkungan selama penyimpanan atau dalam rantai pemasaran. Tujuan pembungkusan benih adalah untuk meningkatkan kinerja benih saat benih dikecambahkan, mempertahankan kadar air benih, menyeragamkan ukuran benih, memudahkan penyimpanan, mengurangi dampak dari kondisi tempat penyimpanan, dan memperpanjang umur benih (Tefa dkk., 2019).

Selain itu, *seed coating* dapat berfungsi untuk meningkatkan daya simpan, mengurangi kemungkinan tertular penyakit dari benih di lingkungannya, dan dapat digunakan sebagai pembawa zat tambahan seperti antioksidan, antimikroba, pengatur pertumbuhan, dan zat dengan potensial osmotik (Ilyas, 2003). Fungisida, bakterisida antioksidan, dan zat pengatur tumbuh, baik sintetik maupun hayati, dapat ditambahkan ke pelapisan untuk meningkatkan manfaatnya (Sari dkk., 2013).

2.3 Cabai Merah

Tanaman cabai (*Capsicum annuum* L.) adalah tanaman semusim dari suku Solonaceae dan merupakan tanaman tahunan berbentuk perdu. Penanamannya biasanya dilakukan di lahan sawah maupun lahan kering (Moekasan dkk., 2014). Pertumbuhan tanaman cabai merah terbagi menjadi 2 fase yaitu: fase pertumbuhan vegetatif dan generatif. Menurut Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian (2011) fase pertumbuhan vegetatif terjadi di antara umur 30-40 hari setelah tanam pada fase ini tanaman cenderung mengarah pada perkembangan batang, dan perakaran tinggi tanaman dan pembentukan daun. Fase generatif berlangsung antara 40-90 hari setelah tanam pada fase ini tanaman cenderung mengalami pembuahan, pembungaan, warna buah dan bentuk buah (Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian., 2011).

Tanaman cabai memiliki banyak ragam tipe pertumbuhan, bentuk dan buah. Tanaman cabai menyebar dengan panjang 25-35 cm dan bentuk perakaran akar tunggang. Akar ini membantu tanaman tetap tegak dan menyerap air dan zat makanan dari dalam tanah. Dari akar tunggang, akan tumbuh akar-akar cabai yang berkembang secara horizontal di dalam tanah, dan akar serabut yang kecil dan rapat akan tumbuh (Harpenas & Dermawan., 2010).



Gambar 1. Tanaman Cabai (*Capsicum annuum*)

(Sumber: tanaman cantik.com., 2019)

Cabai adalah salah satu produk pertanian yang permintaannya semakin tinggi dari tahun ke tahun. Cabai merah merupakan salah satu jenis sayuran penting yang dibudidayakan secara komersial yang memiliki potensi ekonomis dan telah di domestikasi (Tefa dkk., 2019).

Namun, dalam peningkatan produksi cabai belum memenuhi target yang ditetapkan oleh (Dirjen Horti, 2017). Belum optimalnya produksi cabai ini disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya yaitu gangguan dari OPT seperti patogen penyebab penyakit tanaman (Yulia, dkk., 2019).

OPT pada tanaman cabai yang sering dijumpai yaitu: kutu kebul, trips, tungau, kutu daun persik, kutu daun kapas, ulat tanah, gangsir, orong-orong, uret, lalat penggorok daun, dan wareg kapas. Gejala serangan yang di timbulkan oleh hama tersebut bervariasi tergantung jenis hama yang menyerang, misal hama ulat tanah, *Agrotis ipsilon* menyerang tanaman yang masih muda. Ngegat *A. ipsilon* menyukai tanah yang baru diolah untuk meletakkan telurnya. Ulat ini dapat merusak berhektar-hektar tanaman cabai hanya dalam waktu satu malam. Contoh lainnya juga yaitu hama uret *Lepidiota stigma* dengan cara memakan dan memotong akar tanaman sehingga tanaman tumbuh kerdil, layu, dan kemudian mati. Kondisi lingkungan tumbuh yang terlalu lembab menyebabkan tanaman rentan terserang hama. Demikian pula dengan penggunaan pestisida yang tidak tepat akan menimbulkan resistensi. Jika hama tidak peka lagi terhadap pestisida maka hama akan datang menyerang kembali dengan disertai peningkatan populasinya (Trisnawati & Kustanti., 2021).

2.4 Jamur *Trichoderma asperellum*

Kelompok jamur *Trichoderma* merupakan jenis endofit yang umum dijumpai pada area rhizosfer tanaman yang berinteraksi dan mengkolonisasi akar tanaman (Soesanto dkk., 2013). Jamur endofit hidup di dalam jaringan tanaman tanpa menimbulkan gejala penyakit pada tanaman inangnya (Liswarni dan Nurbailis., 2018). Interaksi tersebut bersifat simbiosis yang membantu penyerapan nutrisi, pemacu pertumbuhan, toleran terhadap cekaman abiotik (pencemaran logam berat, kekeringan, salinitas dan sebagainya), cekaman biotik (hama dan penyakit), dan perubahan mikrobioma rizosfer (Madyam & Jumponen., 2005). Salah satu agensia pengendali hayati, *T. asperellum* telah banyak digunakan untuk memerangi mikroba patogen tanaman (Soesanto *et al.*, 2005). Penelitian Hutabalean *et al.*, (2015) juga menemukan bahwa jamur endofit dari jenis *T. asperellum* diaplikasikan terhadap *Fusarium oxysporum*

menunjukkan pertumbuhan koloni yang pasif. Hal ini mengindikasikan bahwa jamur ini dapat menghambat perkembangan *F. oxyporum*.

Spesies *T. asperellum* selain bertindak sebagai agen hayati untuk mengontrol patogen tanaman juga dapat merangsang pertumbuhan tanaman. (Trizelia dkk., 2019). Kemampuan jamur endofit sebagai agensia hayati ini berkaitan dengan kandungan senyawa saponin yang dihasilkan dan bersifat antimikrobia (Fitriyah *et al.*, 2013).

2.5 OPT (Organisme Pengganggu Tanaman)

Organisme Pengganggu Tanaman (OPT) atau hama dan penyakit merupakan salah satu kendala dalam budidaya tanaman sayuran yang dapat menyebabkan kegagalan panen (Moekasan dkk., 2014). Hama, patogen, dan gulma adalah beberapa jenis OPT, yang menyebabkan kesulitan dalam budidaya tanaman, sehingga perlu penanganan yang tepat. Penanganan OPT yang tidak tepat menyebabkan kerugian yang cukup signifikan baik berupa kehilangan hasil (kuantitas) dan penurunan mutu (kualitas) tanaman. Pengendalian OPT biasanya berfokus pada penggunaan pestisida agar tanaman dapat berproduksi secara maksimal, tetapi tidak semua gangguan pada tanaman dapat diatasi dengan penggunaan pestisida. Mikroba tanah, hewan atau organisme lain yang bermanfaat bagi tanaman, juga akan terganggu. Mikroba ini bertanggung jawab atas ketersediaan hara yang dibutuhkan tanaman dan memperbaiki struktur tanah. Oleh karena itu, metode pengendalian OPT lainnya harus digunakan untuk mendukung pertanian yang lebih ramah lingkungan dan keamanan pangan.

Teknis budidaya, pengendalian fisik dan mekanis, varietas tahan, pengendalian hayati, dan pestisida hayati adalah beberapa bagian pengendalian non kimiawi yang dihasilkan oleh para pakar perlindungan tanaman melalui penelitian intensif untuk menerapkan pengendalian hama dan penyakit yang ramah lingkungan dengan memanfaatkan agen hayati, bahan organik, dan solarisasi pada tanah (Ibrahim & Abdelaziz 2017). Pengendalian hama dan penyakit dengan pestisida kimia yang tidak tepat dapat menyebabkan efek seperti resistensi hama, resurgensi hama atau peningkatan populasi keturunan-

keturunan hama, kematian hewan non target, termasuk musuh alami, ledakan hama sekunder, dan residu pestisida pada tanaman dan lingkungan (Septariani dkk., 2019). Tidak terkendalinya OPT dalam budidaya tanaman cabai dapat menyebabkan kegagalan panen (Moekasan dkk., 2014).

2.6 Kitosan

Kitosan adalah biopolimer yang dimodifikasi yang dihasilkan dari deasetilasi parsial kitin, dari unit bergantian (1,4) yang terhubung dengan unit glukosamin dan N-asetil glukosamin. Kitosan merupakan polisakarida putih, keras, dan tidak elastis yang mengandung nitrogen (Badawy & Rabea., 2011). Sehubungan dengan sifatnya yang tidak beracun, mudah terurai secara hayati, dan aktivitas antimikroba, maka kitosan dapat diaplikasikan untuk berbagai tujuan. Pemanfaatan kitosan dapat digunakan dalam bidang biomedisa, pertanian, rekayasa genetika, makanan, pengolahan air, pembuatan kertas, fotografi, dan pengendalian pencemaran lingkungan (Cheba., 2011).

Khitosan adalah polisakarida linier kationik yang terdiri dari poly- β - (1,4) 2 amino-deoksi-D- glukopiranososa. Akan tetapi, kitosan ini tidak larut didalam air, namun dapat larut dalam asam sulfur pada suhu kamar (Nieto., 2009). Karena sifat kationiknya dan kelarutannya dalam larutan asam, maka kitosan dapat digunakan terutama dalam sistem *delivery* (Kananont *et al.*, 2010). Kompleks yang dibentuk oleh gugus amina kitosan terdiri dari berbagai polimer bermuatan berlawanan (Sonia & Sharma., 2011) sehingga kitosan dapat terserap pada permukaan tanaman (Tiyaboochai., 2003). Kitosan juga dapat meningkatkan serapan unsur hara dan kandungan klorofil tanaman (Van *et al.*, 2013) sehingga kitosan diketahui sangat mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan banyak tanaman, termasuk kopi, padi, gandum, stroberi, dan anggrek *Dendrobium formosum*.

Selain memiliki banyak manfaat, kitosan juga berfungsi sebagai solusi ramah lingkungan untuk mengurangi populasi yang disebabkan oleh industry pengolahan makanan laut. Jumlah limbah cangkang di seluruh dunia berkisar antara 60.000 dan 80.000 ton per tahun. Banyaknya limbah dapat memperlambat degradasi dan menimbulkan masalah lingkungan. Salah satu

masalah efektif untuk menyelesaikan masalah ini adalah mengubah limbah cangkang menjadi kitin. Penggunaan kitosan dalam pertanian dan hortikultura, terutama untuk pertahanan tanaman dan peningkatan hasil, bergantung pada cara polimer kitosan yang mengandung glucosamine ini mempengaruhi sifat biokimia dan biologi molekuler sel tumbuhan target seluler pada inti kromatin dan membran plasma dalam pemanfaatan biokontrol alami (Hadwiger et al., 2013). Di bidang pertanian, kitosan biasanya digunakan untuk merawat benih secara alami dan sebagai zat pemicu pertumbuhan tanaman, serta sebagai biopestisida ramah lingkungan yang meningkatkan pertahanan tanaman. (Kaimudin & Leonupun, 2016).

2.7 Sodium Tripolyphosphate (STPP)

Sodium Tripolyphosphate (STPP) adalah bahan tambahan makanan yang aman dan berfungsi sebagai pengemulsi. Karena sifat kimia dan fungsinya yang menguntungkan, STPP sering digunakan dalam industri pangan. Selain berfungsi sebagai buffer dan pengontrol pH, sifat-sifat fosfat memiliki kemampuan untuk menginaktivasi ion logam yang biasanya merusak sistem pangan melalui pembentukan endapan, dan mereka juga memiliki kemampuan untuk menjadi polivalensi dan polielektrolit (Dziezak, 1990)

2.8 Scanning Electron Microscopy (SEM)

Mikroskop adalah saran penting atau alat bantu dalam studi anatomis dan mikromorfologis. Gambar yang lebih jelas dan akurat dapat diperoleh melalui penggunaan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) secara virtual. Endress *et al.*, (2000) menyatakan bahwa SEM memberikan hasil foto yang sangat baik untuk menggunakan karakter mikromorfologis dan anatomis dalam studi tumbuhan secara menyeluruh.

Salah satu jenis mikroskop elektron yang dapat menghasilkan gambaran permukaan sampel dengan resolusi tinggi adalah (SEM). Menurut Setyaningsih & Septiano (2019), alat SEM bekerja dengan memanfaatkan hamburan balik elektron, juga dikenal sebagai *elektron beam*, pada permukaan objek, dan mengambil gambar dengan menemukan elektron yang muncul pada permukaan

objek tersebut. Penggunaan (SEM) saat ini memungkinkan pemindaian area yang luas dan pengumpulan data yang sangat besar. Ini memungkinkan pengumpulan karakteristik sampel melalui perhitungan objek dan pengumpulan statistik, salah satu cara untuk melakukan ini adalah dengan menghasilkan gambar morfologi ukuran untuk menentukan distribusi ukurannya (Kharin., 2020). Salah satu manfaat penggunaan SEM adalah memperoleh gambar morfologi dan konsentrasi campuran suatu bahan (Septiano *et al.*, 2021).

BAB III

BAHAN DAN METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dari bulan Maret sampai Juni 2024 di *Integrated Laboratory of Bioproduct (iLaB)*, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Cibinong.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1. Alat

Alat yang digunakan meliputi: *shaker incubator*, oven, cawan petri, *magnetic stirrer*, vial, *beaker glass*, *scanning electron microscopy (SEM) JSE IT 200*, sentrifus.

3.2.2. Bahan

Bahan yang digunakan meliputi: Biakan jamur *T. asperellum* benih cabai merah, *Potato Dextrose Agar (PDA)*, *Potato Dextrose Broth (PDB)*, beras, aquadest steril, air destilata, asam asetat, *sodium tripolyphosphate (STPP)*, kitosan (CH), tanah dan kompos.

3.3 Metode Penelitian

3.3.1 Persiapan Alat dan Bahan

Mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan seperti: *shaker incubator*, oven, cawan petri, *magnetic stirrer*, vial, *beaker glass*, *Scanning Electron Microscopy (SEM) JSE IT 200*, sentrifus. Jamur *Trichoderma asperellum* benih cabai merah, *Potato Dextrose Agar (PDA)*, *Potato Dextrose Broth (PDB)*, beras, aquadest steril, air destilata, asam asetat, *sodium tripolyphosphate (STPP)*, kitosan (CH), tanah, dan kompos.

3.3.2 Persiapan Isolat Jamur *Trichoderma asperellum*

Kultur jamur *T. asperellum* yang digunakan merupakan kultur murni yang sebelumnya diisolasi dari akar tanaman cabai merah dari pertanian cabai merah di Kecamatan Pacet, Kabupaten Cianjur, Jawa Barat. Jamur ditumbuhkan pada media *Potato Dextrose Agar (PDA)* pada suhu 28°C.

3.3.3 Perbanyak Jamur *Trichoderma asperellum*

Jamur *Trichoderma* yang digunakan diperbanyak di media PDA dan diinkubasi selama 7-14 hari sampai hifa menutupi permukaan media. Selanjutnya, inokulum jamur endofit tersebut ditransfer ke media *Potato Dextrose Broth* (PDB) dan diinkubasi pada *shaker incubator* 150 rpm, suhu 28°C selama 14 hari sampai terbentuk miselia.

3.3.4 Preparasi Bioprotektan

Sediaan bioprotektan dari jamur *T. asperellum* adalah dalam bentuk sediaan kultur kering, yaitu konidia/spora. Jamur *Trichoderma* yang ditumbuhkan pada media cair PDB diagitasi pada suhu 27°C dengan kecepatan 200 rpm selama 14 hari. Kemudian, jamur diinokulasikan ke media beras (250) steril didalam plastik dan diinkubasi selama 14 hari. Selanjutnya, massa spora dipanen dengan penyaringan menggunakan ayakan dengan ukuran mesh 40. Tepung massa jamur ini disimpan didalam cawan petri untuk penggunaan selanjutnya. Sediaan bioprotectant ini digunakan dalam formulasi *seed coating* dengan mengikuti prosedur Zhang *et al.*,(2022) yang dimodifikasi.

3.3.5 Uji Kompatibilitas Jamur Endofit dengan Formulasi Nanopartikel

CH/STPP

Kompatibilitas antara jamur *T. asperellum* dengan formulasi nanopartikel dilakukan berdasarkan uji *poisoned food technique* selama 7 hari. Bahan aktif nanopartikel yang digunakan adalah: *sodium tripolyphosphate* (STPP), asam asetat 1.5%, dan larutan kitosan. Konsentrasi nanopartikel yang dibuat sesuai dengan konsentrasi anjuran yaitu 1g/L. Pada perlakuan nanopartikel, ke dalam media PDA cair sebanyak 9 ml dicampur dengan 1 ml larutan formulasi nanopartikel, dihomogenkan, selanjutnya dituangkan kedalam cawan petri dan dibiarkan memadat. Selanjutnya media tersebut dilubangi di bagian tengah cawan petri dengan sedotan yang sudah steril dengan garis tengah 1 cm, dan ke kedalam lubang tersebut ditambahkan biakan jamur *T. asperellum*. Biakan tersebut diinkubasi dalam suhu kamar selama seminggu. Kompatibilitas ditentukan berdasarkan laju pertumbuhan jamur pada media formulasi yang dibandingkan

dengan kontrol dengan nilai > 50%. Setelah diketahui diameter koloni jamur pada setiap perlakuan dan ulangan kemudian dihitung presentase penghambatan pertumbuhan koloni jamur dihitung dengan rumus (Nurmansyah, 2010):

$$P = \frac{K-T}{K} \times 100\%$$

P= Penghambat pertumbuhan koloni/ daya kendali

K = Diameter koloni / biomassa koloni pada kontrol

T = Diameter koloni / biomassa koloni pada perlakuan

3.3.6 Perhitungan Spora Jamur

Sporulasi jamur *T. asperellum* ditentukan dengan menghitung jumlah spora yang dihasilkan jamur *T. asperellum* pada uji kompatibilitas. Perhitungan kerapatan spora menggunakan alat yang bernama *Haemocytometer*. Langkah awal yaitu membersihkan *Haemocytometer* dengan aquadest, kemudian permukaan atas *Haemocytometer* ditutup dengan *cover glass*, setelah itu suspensi jamur pada pengenceran tertentu diteteskan dibidang hitung *Haemocytometer* melalui celah di bagian kanan dan kiri *cover glass* sehingga bidang hitung terisi penuh, dan ditunggu selama 1 menit agar posisi suspensi di dalam *Haemocytometer* stabil, kemudian spora diamati dengan mikroskop binokuler pada perbesaran 400 x. Selanjutnya, dilakukan perhitungan jumlah spora bidang pandang.

Teknik analisis data yang digunakan oleh peneliti yaitu teknik analisis kuantitatif, berupa perhitungan menggunakan *Haemocytometer*, dibuktikan dengan gambar/ foto dokumentasi kegiatan serta penambahan data pendukung dari berbagai literatur. Adapun data kerapatan spora dianalisis menggunakan rumus sebagai berikut:

$$C = \frac{t \times d}{n \times 0.25} 10^6$$

Keterangan:

C = kerapatan spora per ml larutan

t = jumlah total spora dalam kotak sampel yang diamati

n = jumlah kotak sampel (5 kotak besar x 16 kotak kecil)

0,25 = faktor koreksi penggunaan kotak sampel skala kecil pada *Haemocytometer* 10^6 standar kerapatan spora yang baik

3.3.7 Persiapan Formulasi Nanopartikel (CH /STPP)

Nanopartikel disiapkan melalui proses gelasi *ionic* kitosan (CH) dengan sodium *tripolyphosphate* (STPP) dengan modifikasi metode Divya *et al.*, 2019. Larutan kitosan disiapkan dalam asam asetat 1.5% (0.35% w/v). Selanjutnya, ke dalam larutan kitosan tersebut ditambahkan massa kering jamur (4% w/v), dan larutan STPP 0.4% (60% v/v) dengan cara diteteskan secara perlahan sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu ruang selama 6 jam. Campuran *slurry* yang terbentuk dipindahkan ke dalam botol bertutup dan diinkubasi pada suhu 45°C selama 12 jam. Selanjutnya dilakukan sentrifugasi pada 15,000 rpm selama 20 menit dengan suhu 28°C. Supernatan dibuang dan partikel *pellet* yang dihasilkan dijadikan dalam variasi konsentrasi 10, 25, dan 50 mg/mL dengan penambahan aquadest. Selanjutnya campuran dihomogenkan dengan ultra thurax selama 3 kali sepuluh menit dengan kecepatan 92 rpm dan dilanjutkan dengan sonikasi selama 45 menit dengan suhu 28°C pada masing-masing konsentrasi dan kontrol. Kemudian formulasi tersebut disimpan pada suhu dingin pada suhu-20°C. Kontrol berupa campuran nanopartikel dari kitosan dan STPP disiapkan tanpa penambahan massa kering jamur.

3.3.8 Proses *Seed Coating* dengan Formulasi Nanopartikel CH/STPP

Sebelum pelapisan, benih direndam di dalam air selama 24 jam dan disteril menggunakan alkohol 70% (3-5 menit), bayclin 0,05% (3-5 menit) dan aquadest sebanyak 3 kali dengan interval waktu masing-masing (5 menit). Selanjutnya, benih yang akan dilapisi dengan formulasi nanopartikel dimasukkan ke dalam *beaker glass* sebanyak 100 g, kemudian dicampur dengan variasi konsentrasi 10, 25, 50 mg/ml selama 60 menit dalam formulasi nanopartikel CH/STPP 20 ml dan diratakan dengan cara menggoyang wadah sehingga terbentuk campuran merata pada benih cabai. Selanjutnya, benih yang sudah terlapisi tersebut dikering anginkan selama 12-24 jam pada suhu ruang.

3.3.9 Karakterisasi Formulasi *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Tujuan dari karakterisasi ini adalah untuk melihat bagian struktur permukaan benih dan ketebalan coating. Prinsip kerja SEM adalah dengan menembakkan berkas elektron berenergi tinggi ke permukaan sesuatu. Permukaan yang terkena berkas akan memantulkan kembali atau berkas tersebut atau menghasilkan elektron sekunder ke segala arah, tetapi ada satu arah di mana berkas dipantulkan dengan intensitas tertinggi. Elektron yang dipantulkan diidentifikasi (Kharin., 2020). Salah satu manfaat penggunaan SEM adalah memperoleh gambar morfologi dan konsentrasi campuran suatu bahan (Septiano *et al.*, 2021).

3.3.10 Asesmen Formulasi Nanopartikel CH/STPP

Benih cabai yang sudah dilapisi dengan formulasi ditanam di polybag berukuran 20 x 15 cm berisi campuran tanah dan kompos steril 300 g sebagai media perkecambahan. Setiap konsentrasi perlakuan terdiri dari 10 benih yang ditanam dengan 4 ulangan. Pengaruh perlakuan *coating* benih terhadap viabilitas dan vigor benih, dievaluasi dengan mengamati persentase benih yang berkecambah normal pada hari pengamatan, yaitu 14 hari setelah tanam (HST), kecepatan tumbuh relatif tumbuh pada benih yang berkecambah normal setiap hari 14 HST, dan pengamatan indeks vigor dilakukan dengan menghitung persentase benih yang berkecambah normal pada hari ke 7 setelah tanam. Pengamatan perkecambahan dilanjutkan sampai setidaknya 50% kontrol berkecambah. Asesmen dilakukan berdasarkan persentase perkecambahan dan indeks vigor benih (Divya *et al.*, 2019).

3.4 Parameter Penelitian

Parameter yang diamati dalam penelitian ini adalah kompatibilitas antara jamur *T. asperellum* dengan formulasi nanopartikel. Selain formulasi nanopartikel, pengamatan terhadap yang viabilitas benih meliputi: daya berkecambah (DB), potensi tumbuh maksimum (PTM) dan vigor berupa indeks vigor (IV), dan keserempakan tumbuh (KST).

a. Potensi tumbuh maksimum (PTM)

Potensi tumbuh maksimum diperoleh dengan menghitung jumlah kecambah yang tumbuh normal maupun abnormal pada hari ke 14 HST. Potensi tumbuh maksimum dihitung dengan rumus:

$$PTM (\%) = \frac{\sum \text{benih yang tumbuh}}{\sum \text{benih yang ditanam}} \times 100 \%$$

b. Daya berkecambah (DB)

Daya berkecambah diperoleh dengan menghitung jumlah benih yang berkecambah normal pada hari pertama tumbuh sampai hari terakhir tumbuh

$$DB (\%) = \frac{\sum KN \text{ Hitungan I} + \sum KN \text{ Hitungan II}}{\sum \text{benih yang ditanam}} \times 100 \%$$

Keterangan: KN =Kecambah Normal

c. Indeks vigor (IV)

Pengamatan indeks vigor dilakukan terhadap jumlah kecambah normal pada hitungan hari pertama (*first count*) yaitu pada hari ke 5 (ISTA, 2010).

$$IV (\%) = \frac{\sum \text{kecambah normal pada hitungan pertama}}{\sum \text{benih yang ditanam}} \times 100 \%$$

d. Keserempakan tumbuh (KST)

Keserempakan tumbuh dihitung berdasarkan persentase kecambah normal pada hari ke 14. Pengamatan dilakukan terhadap jumlah bibit normal diantara hitungan pertama dan hitungan kedua. Pengamatan keserempakan tumbuh dilakukan pada hari ke-14. Keserempakan tumbuh dihitung dengan rumus:

$$KST (\%) = \frac{\sum KN \text{ hari ke-14}}{\sum \text{benih yang ditanam}} \times 100 \%$$

3.5 Rancangan Penelitian

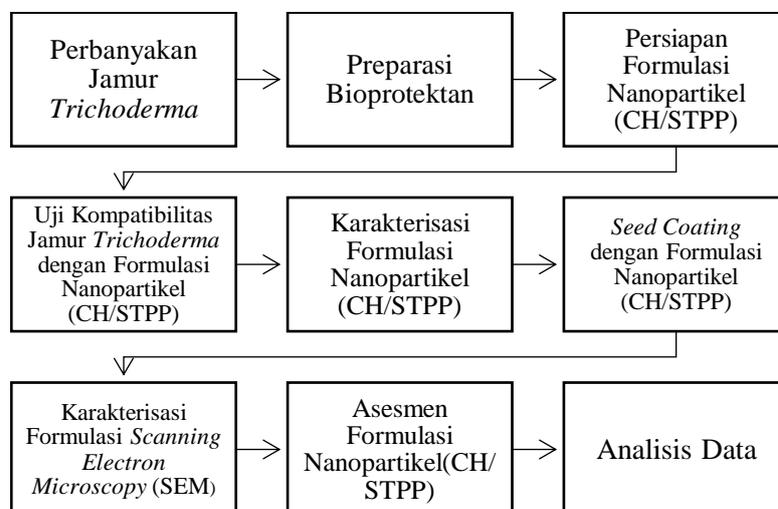
Pada penelitian ini rancangan percobaan yang akan digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) untuk mengetahui kompatibilitas formulasi material nanopartikel dengan jamur *T. asperellum* menggunakan *coating* benih tanaman cabai serta viabilitas benih cabai. Perlakuan kompatibilitas jamur dilakukan dalam 5 kali ulangan untuk satu kombinasi perlakuan dengan pengamatan pada diameter pertumbuhan jamur. Variasi formulasi *coating* benih yaitu, 3 variasi konsentrasi 10, 25, dan 50 mg/ml dengan waktu perendaman 60 menit untuk setiap variasi konsentrasi. Pengamatan pertumbuhan benih dilakukan

setiap hari selama 14 hari, sedangkan pengamatan panjang akar dan indeks ketahanan diamati pada hari ke 14.

3.6 Analisis Data

Data yang diperoleh dalam penelitian berupa data kuantitatif diperoleh dari data perkecambahan benih pada skala semi lapangan, dan diolah menggunakan *t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances* dengan taraf 95% menggunakan Microsoft Exel dan *Analysis of Variance (ANOVA)* dengan taraf kepercayaan 95% menggunakan perangkat lunak *Statistical Pack for the Social Sciences (SPSS)* versi 25 dan jika hasilnya berbeda nyata maka selanjutnya diuji dengan Uji Jarak Berganda Duncan dengan *p-value* <0.05.

3.7 Bagan Penelitian



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pelapisan benih atau biasa dikenal dengan *seed coating* merupakan salah satu cara untuk membawa agen hayati masuk ke dalam benih. Metode ini dianggap lebih baik karena petani dapat menanam benih tanpa perawatan tambahan. Salah satu cara untuk meningkatkan mutu benih menjadi lebih baik dengan menambah bahan protektan berupa bahan kimia pada formula *seed coating*. Pada penelitian ini dibuat formulasi *seed coating* berupa nanopartikel dengan agen hayati jamur *T. asperellum* untuk menggantikan bahan protektan kimia. Kesesuaian formulasi *seed coating* ini dengan bioprotektan jamur *T. asperellum* dievaluasi dengan uji kompatibilitas. Lalu pengujian selanjutnya yaitu viabilitas perkecambahan dan vigor pada saat perkecambahan untuk melihat sejauh mana *seed coating* dengan penambahan jamur *T. asperellum* ini berpengaruh terhadap pertumbuhan benih cabai.

4.1 Uji Kompatibilitas

Uji kompatibilitas ini dilakukan untuk mencari kesesuaian atau kecocokan jamur *T. asperellum* dengan campuran CH dan STPP pada formulasi *seed coating*. Pada uji kompatibilitas ini dilakukan pengamatan pertumbuhan koloni jamur dan kerapatan spora.

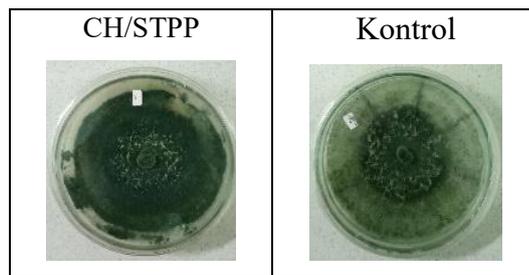
Pengamatan pertumbuhan koloni jamur dilakukan dengan menghitung diameter koloni jamur menggunakan penggaris. Pengamatan diameter pertumbuhan koloni *T. asperellum* dilakukan 1 hari setelah inokulasi sampai hari ke 7. Hasil diameter pertumbuhan koloni *T. asperellum* selama 7 hari tersaji pada Lampiran 1. Hasil perhitungan pertumbuhan jamur *T. asperellum* pada pengamatan hari ke-7 dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Rata-rata Pertumbuhan Jamur *T.asperellum* pada Media dengan Penambahan Bahan Formulasi *Seed Coating*.

Perlakuan	Pertumbuhan Koloni Hari ke-7 $\bar{X} \pm SD$
Kontrol	7,56 \pm 0,633a
CH/STPP	7,88 \pm 0,252a

Hasil Uji T-test menunjukkan hasil tidak adanya pengaruh berbeda nyata terhadap pertumbuhan jamur *T.asperellum*. Akan tetapi diameter pertumbuhan yang lebih besar pada perlakuan media dengan penambahan CH dan STPP, yaitu 7,88 cm dibandingkan pada media kontrol, yaitu 7,56 cm. Berdasarkan nilai tersebut dapat diketahui nilai inhibisi atau penghambatan pertumbuhan jamur *T.asperellum* pada media dengan bahan formulasi sebesar -4% (Lampiran 1). Nilai ini mengindikasikan bahwa tidak terjadi penghambatan pertumbuhan jamur *T. asperellum* pada media dengan bahan formulasi, sebaliknya jamur *T. asperellum* tumbuh lebih baik. Gambar 2 menunjukkan bahwa koloni jamur *T. asperellum* pada media dengan penambahan CH/STPP memiliki kumpulan hifa atau miselium yang lebih padat dengan warna miselium yang lebih gelap. Pada media PDA (kontrol), miselium lebih tipis dan terkonsentrasi dibagian tengah media. Hal ini menunjukkan bahwa media dengan bahan formulasi kompatibel dengan jamur *T.asperellum*.

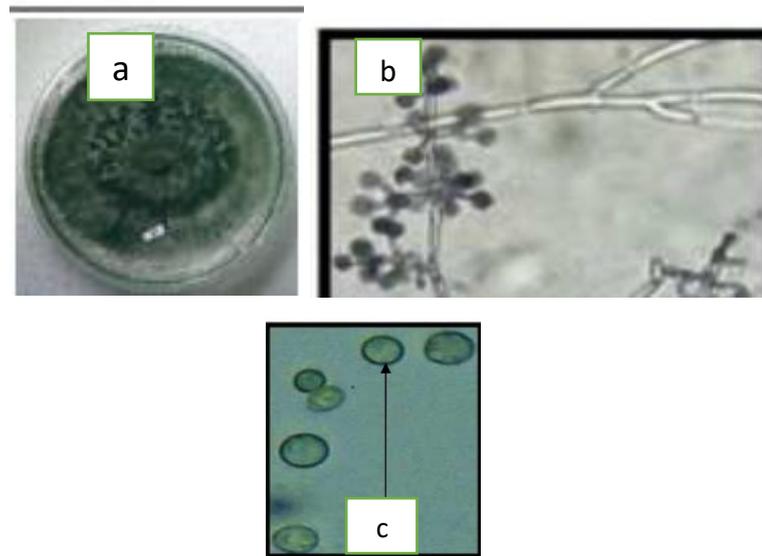
Manfaat kitosan yang mampu meningkatkan kandungan unsur hara dan populasi mikroorganisme yang menguntungkan menjadi salah satu faktor yang mendukung pertumbuhan *T. asperellum* pada media dengan penambahan CH/STPP (Brinado., 2010). Penelitian Purnama *et al.*, (2003); menunjukkan bahwa pada kondisi normal koloni *T. asprellum* pada hari ke-7 mencapai diameter 7 cm (Lampiran 1). Hasil penelitian ini menunjukkan hasil serupa, yaitu *T. asperellum* dapat tumbuh dengan diameter ≥ 7 cm pada hari ke-7. Hal ini menunjukkan bahwa pada penambahan CH/STPP pada media PDA dapat menginduksi pertumbuhan jamur *T. asperellum* sehingga dapat digunakan dalam formulasi untuk pelapisan benih cabai.



Gambar 2. Penampakan visual koloni jamur *Trichoderma asperellum* pada hari ke-7

Morfologi spesies *Trichoderma* beragam sesuai dengan jenis media yang digunakan. Konidia berwarna hijau merupakan ciri khas dari genus *Trichoderma* sebagian besar spesies *Trichoderma* tumbuh dengan baik pada suhu 25-35°C. Gambar 3 menunjukkan isolat *Trichoderma* memiliki bentuk konidiafor dengan sumbu utama panjang dan sempit serta filialid yang muncul dalam lingkaran tiga. Konidia pada media PDA berwarna hijau tau dan tumbuh relatif lebih cepat ukurannya mencapai 7 cm dalam 7 hari. Isolat tersebut sesuai dengan karakteristik *Trichoderma asperellum* (de Padua *et al.*, 2021).

Penghitungan kerapatan spora cendawan *T. asperellum* menggunakan *Haemocytometer* diperoleh $1,975 \times 10^7$ cells/ml. Nilai ini termasuk mutu yang baik sesuai dengan standar kerapatan spora yang ditetapkan oleh Direktorat Perlindungan Perkebunan Kementerian Pertanian tahun 2014 bahwa formulasi cendawan dapat dikategorikan baik apabila formulasi tersebut memiliki kerapatan spora sama atau lebih besar dan 1×10^6 cells/ml. Menurut Nurani *et al.*, (2018) kerapatan spora dengan mutu baik sudah bisa didistribusikan ke para petani dan akan memberikan tingkat keberhasilan suatu formulasi sebagai agens pengendali hayati.



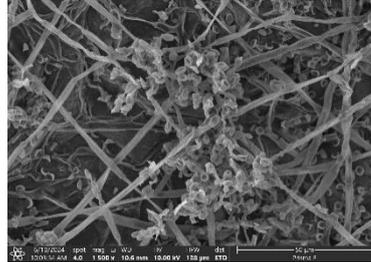
Gambar 3. Bentuk Morfologi Spesies *Trichoderma*: a. Koloni *T.asperellum* pada media PDA b. *Trichoderma* pada perbesaran 400x (Tegene *et al.*, 2021), c. Konidia *Trichoderma*

Posada dan Vega (2005) menyatakan bahwa isolat cendawan entomopatogen yang mampu menghasilkan spora lebih banyak akan menyebar dengan lebih cepat ke area perakaran. Menurut Yuningsih & Widyaningrum (2014) jumlah spora yang banyak akan mempercepat infeksi larva serangga. Peluang spora untuk berinteraksi dengan larva di perakaran akan lebih besar sehingga mempengaruhi mortalitas. Pada konsentrasi rendah, cendawan belum mampu menguraikan lapisan kitin dan lemak dari kulit serangga sehingga penetrasi dan infeksi tidak terjadi (Susanti *et al.*, 2012). Dengan demikian spora dengan kerapatan yang direkomendasikan akan lebih mudah berinteraksi dengan benih, yaitu melalui proses menempel, berkecambah, dan berpenetrasi ke dalam biji (Humairoh *et al.*, 2016).

4.2 Uji Ukuran Partikel

Pada lampiran 5 didapatkan ukuran partikel formulasi dari beberapa konsentrasi. Ukuran partikel yang didapat dari formula pada kontrol (tidak terdapat jamur) sebesar 263.1 nm hal ini sudah sesuai dengan teori dimana nanopartikel memiliki ukuran kurang dari 1000 nm. Formulasi dengan konsentrasi 10, 25, dan 50 memiliki ukuran partikel lebih dari 1000 nm

(Kurniasari & Atun 2017). Hal ini dikarenakan penambahan jamur *T. asperellum* didalam formulasi dapat mempengaruhi ukuran partikel yang terbentuk.



Gambar 4. *T. asperellum* dibawah *scanning mikroskop elektron* pada perbesaran 1.500x.

Peningkatan konsentrasi formulasi membuat sediaan menjadi lebih kental juga dapat mengakibatkan peningkatan ukuran partikel. Ukuran partikel yang tidak seragam disebabkan karena kecenderungan partikel untuk aglomerasi spora partikel yang lebih besar. Bentuk partikel yang terbentuk tidak sama dapat juga menyebabkan kontak antar partikel sehingga terjadi agregasi (Zare, 2016). Distribusi ukuran partikel adalah nilai yang menyatakan tingkat keragaman ukuran partikel. Menurut Danaei *et al.*, (2018) tingkat kehomogenan ukuran partikel atau dispersi ukuran partikel adalah nilai yang menunjukkan tingkat keragaman ukuran partikel.

Pada penelitian ini didapatkan hasil uji SEM yang tersaji pada Lampiran 7 pada perbesaran 45x menunjukkan benih cabai dilapisi pelapis yaitu jamur *T. asperellum* dan bisa terlihat semakin tinggi konsentrasi semakin tebal lapisan formulasi pada benih yang akan di uji kan. Gambar 4 pada pengamatan perbesaran 1500 x terdapat morfologi nanopartikel menunjukkan adanya koloni jamur *T. asperellum* pada benih cabai yang sudah di *coating*.

4.3 Viabilitas Perkecambahan

Perkecambahan benih merupakan suatu rangkain perubahan-perubahan morfologi, fisiologi, dan biokimia. Copeland & Mc. Donald (1995) menyatakan bahwa perkecambahan benih, secara fisiologis adalah muncul dan berkembangnya struktur-struktur penting dari embrio benih sampai dengan akar menembus kulit benih. Viabilitas merupakan daya hidup benih yang dapat

menunjukkan proses pertumbuhan benih. Menurut Kuswanto (2003), benih berkualitas tinggi memiliki viabilitas lebih dari 90% sehingga tanaman dapat tumbuh dalam kondisi yang tidak ideal dan menghasilkan hasil yang maksimal.

Parameter viabilitas yang diamati dalam penelitian ini yaitu daya berkecambah (DB), dan potensi tumbuh maksimum (PTM). Sedangkan untuk vigor yang diamati yaitu indeks vigor atau ketahanan dan keserempakan tumbuh. Berdasarkan parameter tersebut maka jamur *T. asperellum* dalam formuasi *seed coating* benih untuk menghentikan pertumbuhan mikroba patogen, merangsang kolonisasi rhizosfer, pertumbuhan tanaman dan meningkatkan pertahanan tanaman dapat dievaluasi.

4.2.1 Potensi Tumbuh Maksimum

Parameter potensi tumbuh maksimum adalah jumlah total benih yang menunjukkan gejala hidup. Perhitungannya didasarkan pada perbandingan jumlah benih yang tumbuh normal dan abnormal terhadap jumlah benih yang ditanam. Hasil perhitungan rerata potensi tumbuh maksimum dapat dilihat pada Tabel 2. Hasil ANOVA menunjukkan adanya pengaruh berbeda nyata terhadap daya berkecambah benih cabai. Berdasarkan uji lanjut Duncan menunjukkan bahwa pemberian perlakuan pada semua konsentrasi memberikan pengaruh berbeda nyata terhadap potensi tumbuh maksimum benih cabai.

Tabel 2. Rata-Rata Potensi Tumbuh Maksimum Perkecambahan Benih Cabai Selama 14 hari.

Perlakuan	Potensi Tumbuh Maksimum (%)
Kontrol	50 ^c ± 14
Konsentrasi 10 mg/ml	72 ^b ± 5
Konsentrasi 25 mg/ml	87 ^a ± 5
Konsentrasi 50mg/ml	67 ^b ± 9

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada setiap kolom menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji Duncan pada taraf 95%

Benih cabai yang dilapisi formulasi nanopartikel berbasis *Trichoderma* dapat menginduksi perkecambahan maksimum sebesar 87% pada konsentrasi perlakuan 25 mg/ml. Nilai ini berbeda nyata dengan variasi perlakuan 10 dan 50 mg/ml. Dalam hal ini jamur *T. asperellum* diduga berperan sebagai biostimulant

yaitu mampu merangsang hormon auksin untuk membantu pemanjangan dan pembelahan sel yang berdampak pada peningkatan pertumbuhan benih cabai dan juga bisa sebagai biofertilizer. Rusmin *et al.*, (2020) menyatakan bahwa pemberian ZPT alami dapat meningkatkan potensi tumbuh embrio, yang dapat merangsang proses perkecambahan benih. Jamur *Trichoderma* mengandung ZPT alami yang cukup untuk meningkatkan perkecambahan tanaman cabai.

4.2.2 Daya Berkecambah

Daya kecambah benih merupakan parameter yang menjadi tolak ukur bahwa benih memiliki viabilitas. Mundurnya viabilitas benih merupakan proses yang berjalan bertingkat dan kumulatif akibat perubahan yang terjadi di dalam benih (Mustika, *et al.*, 2014). Hasil perhitungan rerata daya berkecambah dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Rata-Rata Daya Berkecambah Pada Benih Cabai Selama 14 Hari

Perlakuan	Daya Berkecambah (%)
Kontrol	50 ^c ± 14
Konsentrasi 10 mg/ml	72 ^b ± 5
Konsentrasi 25 mg/ml	87 ^a ± 5
Konsentrasi 50mg/ml	67 ^b ± 9

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada setiap kolom menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji Duncan pada taraf 95%

Hasil ANOVA menunjukkan adanya pengaruh berbeda nyata pada nilai daya kecambah benih cabai. Berdasarkan uji lanjut Duncan menunjukkan bahwa variasi konsentrasi formulasi *coating* benih memberikan pengaruh yang signifikan terhadap daya kecambah benih. Tabel 3. Daya kecambah tertinggi sebesar 87% diperoleh pada benih yang dilapisi formulasi *seed coating* dengan konsentrasi 25 mg/ml. Daya kecambah ini diduga berkaitan dengan kandungan kitosan dan STPP dalam formulasi berperan dalam penyerapan unsur hara pada tanaman (Tiyaboochai., 2003). Van *et al.*, (2013) menyebutkan bahwa kitosan juga dapat meningkatkan serapan unsur hara dan kandungan klorofil tanaman. Selain itu, kitosan sangat mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman,

termasuk kopi, padi, gandum, stroberi, dan anggrek (Van *et al.*, 2013; Kananont *et al.*, 2010).

Pengaruh lain yang menyebabkan daya perkecambahan adalah pengaruh perlakuan pelapisan benih (*seed coating*) yang merupakan salah satu metode *enhancement*. Metode ini efektif untuk mengurangi resiko tertular penyakit dari lingkungan sekitar, dan dapat digunakan sebagai pembawa zat adiktif, misalnya antioksidan, antimikroba, mikroba antagonis, zat pengatur tumbuhan dan lain-lain. Penambahan jamur *Trichoderma* pada *seed coating* dapat membantu dalam mengendalikan dan meningkatkan perkecambahan benih cabai (Ilyas, 2012).

4.4 Vigor

Vigor merupakan beberapa sifat-sifat benih yang mengindikasikan pertumbuhan dan perkembangan kecambah yang normal dan cepat pada kisaran kondisi optimum maupun sub optimum (Ilyas, 2003).

4.3.1 Indeks Vigor

Indeks vigor merupakan perbandingan antara jumlah kecambah normal pada hitungan pertama dan jumlah seluruh benih yang ditanam. Kolasinka *et al.*, (2000), menyatakan bahwa kemampuan benih berkecambah dilapang terkait erat dengan persentase kecambah normal pada pengamatan pertama dibandingkan dengan persentase kecambah pada akhir pengamatan. Dengan demikian hasil pengujian indeks vigor lebih peka dan dapat mencerminkan atau menginformasikan secara akurat potensi tumbuh lapang dibandingkan dengan pengujian daya berkecambah. Hasil perhitungan indeks vigor perkecambahan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Indeks Vigor Perkecambahan Benih Cabai Selama 14 hari.

Perlakuan	Indeks Vigor (%)
Kontrol	35 ^b ± 19
Konsentrasi 10 mg/ml	60 ^{ab} ± 8
Konsentrasi 25 mg/ml	70 ^a ± 14
Konsentrasi 50mg/ml	32 ^b ± 26

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada setiap kolom menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji Duncan pada taraf 95%

Hasil ANOVA menunjukkan adanya pengaruh berbeda nyata terhadap daya indeks vigor. Berdasarkan uji lanjut Duncan menunjukkan bahwa variasi perlakuan *coating* pada semua konsentrasi memberikan pengaruh nyata terhadap indeks vigor benih. Berdasarkan Tabel 4, perlakuan *seed coating* dengan formulasi nanopartikel pada konsentrasi 25 mg/ml menghasilkan presentase indeks vigor tertinggi yaitu 70%. Hal ini diduga karena peran sifat jamur *T. asperellum* yang berfungsi sebagai agen biokontrol melalui mekanisme mikroparasit, pembuatan antibiotik, kolonisasi akar, kompetisi nutrisi dan ruang, dan pengembangan resistensi sistemik dan peningkatan pertumbuhan (Naher., dkk 2014). Menurut de Santiago *et al.*, (2013), *T. asperellum* memiliki kemampuan untuk meningkatkan efisiensi penyerapan hara dengan melarutkan nutrisi anorganik seperti besi dan kapur, yang membuatnya tersedia untuk pertumbuhan tanaman.

Menurut Nurahmi *et al.* (2012) *T. asperellum* secara ekstensif menghasilkan antibiotik untuk mikroorganisme dan parasit cendawan yang menyebabkan penyakit pada tanaman. Agen hayati ini berinteraksi dengan mensekresikan sitokinin tanaman dapat memacu hormon pertumbuhan dan meningkatkan pertumbuhannya (Sucahyono, 2013). Pada penelitian Widia dkk (2018) menyatakan bahwa tanaman kedelai memiliki indeks vigor terendah ketika pupuk dengan jamur *T. asperellum* tidak ditambahkan ke media tanam. Hal ini menunjukkan bahwa cendawan *Trichoderma* diperlukan untuk meningkatkan vigor.

4.3.2 Keserempakan Tumbuh Benih

Vigor benih yang baik dapat diindikasikan dengan kemampuan benih untuk tumbuh dengan cepat dan seragam. Pengukuran keserempakan tumbuh benih ditunjukkan dengan nilai peubah parameter vigor benih yang menggambarkan potensi benih untuk tumbuh cepat tumbuh, muncul seragam, dan pengembangan bibitnya normal dalam berbagai kondisi lapangan (Lesilolo *et al.*, 2013). Hasil perhitungan keserempakan tumbuh benih cabai dapat dilihat pada Tabel 5.

Hasil ANOVA menunjukkan adanya pengaruh berbeda nyata terhadap daya keserempakan tumbuh. Berdasarkan uji lanjut Duncan menunjukkan bahwa pemberian perlakuan pada semua konsentrasi memberikan pengaruh berbeda

nyata antar perlakuan. Terlihat pada Tabel 5, proses pelapisan benih dengan konsentrasi formula 50 mg/ml mendapatkan hasil pertumbuhan terendah. Hal ini diduga karena penggunaan *Trichoderma* pada konsentrasi yang berlebih akan memberikan respon negatif terhadap pertumbuhan tanaman (Sriwati., *et al.*, 2011).

Tabel 5. Rata-Rata Keserempakan Tumbuh Benih Cabai Selama 14 Hari

Perlakuan	Keserempakan Tumbuh (%)
Kontrol	35 ^c ± 14
Konsentrasi 10 mg/ml	60 ^b ± 5
Konsentrasi 25 mg/ml	70 ^a ± 5
Konsentrasi 50mg/ml	32 ^b ± 9

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada setiap kolom menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji Duncan pada taraf 95%

Sedangkan pada konsentrasi formula 10 dan 25 mg/ml memberikan hasil pertumbuhan yang lebih baik 40 %. Hasil ini sejalan dengan penelitian Yuanasari dkk (2015), yang menyatakan bahwa nilai keserempakan tumbuh terjadi pada rentang waktu 40 dan 70 % persen menunjukkan kekuatan tumbuh terjadi pada rentang absolute yang tinggi, sedangkan nilai yang kurang dari 40 % menunjukkan kelompok benih yang kurang kuat. Dengan demikian, nilai keserempakan tumbuh yang tinggi menunjukkan kekuatan tumbuh absolute yang tinggi, karena 2 konsentrasi benih ini menunjukkan pertumbuhan yang kuat dan serempak.

4.5 Panjang Akar

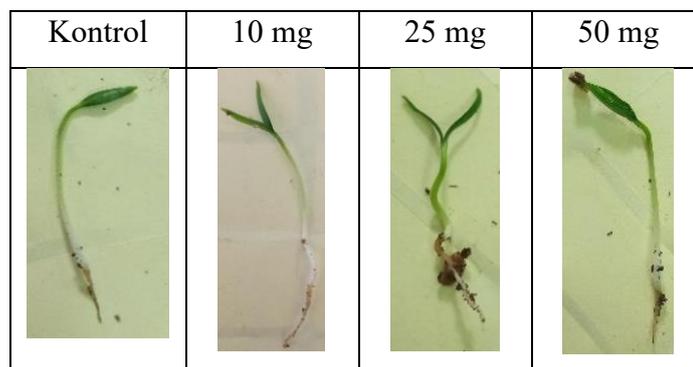
Siklus kehidupan tanaman melibatkan pertumbuhan akar, organ vegetatif utama yang memasok air, mineral bahan-bahan yang diperlukan oleh tanaman. Hasil perhitungan panjang akar dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Rata-Rata Panjang Akar Pada Perkecambahan Benih Cabai

Perlakuan	Panjang Akar (cm)
Kontrol	1,75 ^c ± 0,2
Konsentrasi 10 mg/ml	2,25 ^b ± 0,2
Konsentrasi 25 mg/ml	2,90 ^a ± 0,1
Konsentrasi 50mg/ml	1,72 ^c ± 0,2

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada setiap kolom menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji Duncan pada taraf 95%

Hasil ANOVA menunjukkan adanya pengaruh konsentrasi formulasi yang berbeda nyata terhadap pertumbuhan akar. Berdasarkan uji lanjut Duncan menunjukkan bahwa pemberian perlakuan pada semua konsentrasi memberikan pengaruh berbeda nyata antar perlakuan. Penelitian yang dilakukan oleh Rizal & Susanti (2018) menyebutkan bahwa jamur *Trichoderma* dan kitosan dapat berasosiasi dengan akar dan menginfeksi akar tanaman, sehingga terbentuk lebih banyak cabang akar, yang membantu proses penyerapan unsur hara menjadi lebih lancar. Dengan bantuan cabang akar ini, proses fisiologi tanaman akan berlangsung dengan baik, dan tanaman akan menerima jumlah hara yang diperlukan.



Gambar 5. Panjang Akar Tanaman Cabai

Gambar 5 menunjukkan kondisi akar cabai setelah 14 HST pada konsentrasi 25 mg/ml memiliki ukuran yang lebih panjang dari pada konsentrasi yang lain. Hal ini diduga karena kitosan pada dosis tertentu bisa membantu pertumbuhan akar tanaman. Akar dengan pertumbuhan kuat dan sehat dapat meningkatkan penyerapan air dan nutrisi dari tanah. Selain itu, kitosan dikenal memiliki sifat antimikroba, terutama sebagai anti jamur yang efektif terhadap patogen. Selain itu, kitosan memiliki banyak manfaat dalam pertanian karena kemampuan untuk mengatur sistem ketahanan tanaman dan melawan serangan hama.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Jamur *Trichoderma asperellum* dapat kompatibel dengan formulasi *seed coating* menggunakan teknologi nanopartikel.
2. Formulasi *seed coating* menggunakan teknologi nanopartikel memberikan respon yang baik pada hasil rataan potensi tumbuh maksimum, daya berkecambah, indeks vigor dan keserempakan tumbuh pada benih cabai.
3. Pada konsentrasi 25 mg/ml formulasi *coating* menggunakan teknologi nanopartikel memberikan hasil yang optimal terhadap viabilitas dan vigor benih cabai.

5.2. Saran

1. Perlu dilakukan uji lebih lanjut terhadap ketahanan penyimpanan benih cabai setelah disimpan selama beberapa waktu. Untuk melihat sejauh mana *seed coating* ini bisa menjaga kualitas benih cabai.
2. Perlu pengamatan pada bagian akar terjadinya kolonisasi akar oleh *Trichoderma asperellum*.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Basit, M. P., & Rahmawati, N. U. S. 2023. Peluang dan Prospek Teknologi Nano dalam Sistem Produksi Pertanian di Indonesia. *UNISMA PRESS*.
- Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. 2011. Varietas Unggul Ubi Kayu Untuk Bahan Pangan dan Bahan Industri. *J. Agroinovasi* 29 (3412): 1-7.
- Badawy, M. E., & Rabea, E. I. 2011. A biopolymer chitosan and its derivatives as promising antimicrobial agents against plant pathogens and their applications in crop protection. *International Journal of Carbohydrate Chemistry*, 2011 (1), 460381.
- Brinado Fassa Ianca. 2010. Pengaruh Perlakuan Kitosan terhadap Pertumbuhan tanaman Kedelai (*Glycine max*) Selama Fase Vegetatif dan Awal Fase Generatif, Bogor: *Departemen Teknologi Hasil Perairan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor*.
- Cheba BA 2011. Kitin dan kitosan: biopolimer laut dengan sifat unik dan aplikasi serbaguna. *Glob J Bioteknologi Biokimia* 6(3):149–153.
- Copeland, L.O., M.B. McDonald 1995. Principles of Seed Science and Technology. *Chapman and Hall. New York*. 409.
- Danaei, M., Dehghankhold, M., Ataei, S., Hasanzadeh Davarani, F., Javanmard, R., Dokhani, A., Khorasani, S., Mozafari, M. R. (2018). Impact of Particle Size and Polydispersity Index on the Clinical Applications of Lipidic Nanocarrier Systems. *Pharmaceutics*, 10(2), 1–17.
- De Santiago, A., García-López, A. M., Quintero, J. M., Avilés, M., & Delgado, A. 2013. Effect of *Trichoderma asperellum* strain T34 and glucose addition on iron nutrition in cucumber grown on calcareous soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 57, 598-605.
- De Padua, J. C., & dela Cruz, T. E. E. (2021). Isolation and characterization of nickel-tolerant *Trichoderma* strains from marine and terrestrial environments. *Journal of Fungi*, 7(8), 591.
- Dirjen 2017. Petunjuk Umum Program Peningkatan Produksi dan Nilai Tambah Produk Hortikultura Tahun 2017. *Direktorat Jenderal Holtikultura Kementrian Pertanian*.
- Divya, K., Vijayan, S., Nair, S. J., & Jisha, M. S. 2019. Optimization of chitosan nanoparticle synthesis and its potential application as germination elicitor of *Oryza sativa* L. *International journal of biological macromolecules*, 124, 1053-1059.
- Dziezak, J. D. 1990. Phosphate Improve Many Food. Institute of Food Technologist. *Chicago*.

- Endress, P. K., Baas, P., and Gregory, M. 2000. Systematic Plant Morphology and Anatomy: 50 Years of Progress. *Taxon*. 49 (3): 401-434.
- Etesami H, Maheshwari DK 2018. Use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) with multiple plant growth promoting traits in stress agriculture: action mechanisms and future prospects. *Ecotoxicol Environ Saf*, 156, 225–246.
- Fitri, D., Kiromah, N.Z.W. and Widiastuti, T.C. (2020) ‘Formulasi Dan Karakterisasi Nanopartikel Ekstrak Etanol Daun Salam (*Syzygium polyanthum*) Pada Berbagai Variasi Komposisi Kitosan Dengan Metode Gelasi Ionik’, *JPSCR: Journal of Pharmaceutical Science and Clinical Research*, 5(1), p. 61. Available at: <https://doi.org/10.20961/jpscr.v5i1.39269>.
- Fitriyah D, Jose C, Saryono. 2013. Skrining aktivitas antimikroba dan uji fitokimia dari kapang endofitik tanaman dahlia (*Dahlia variabilis*). *J Ind Che Acta*. 3(2), 50-55.
- Gouda, S., Kerry, R. G., Das, G., Paramithiotis, S., Shin, H. S., & Patra, J. K. 2018. Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. *Microbiological research*, 206, 131-140.
- Hadwiger, Lee A. 2013. Multiple effects of chitosan on plant systems: Solid science or hype. *Plant science*. 208: 42±9
- Harpenas, A., & Dermawan, R. 2010. *Budi daya cabai unggul*. PT Niaga Swadaya.
- Harsonowati, W., Marian, M., Surono, & Narisawa, K. 2020. The effectiveness of a dark septate endophytic fungus, *Cladophialophora chaetospora* SK51, to mitigate strawberry *Fusarium* wilt disease and with growth promotion activities. *Frontiers in microbiology*, 11, 585.
- Humairoh, D., Hidayat, M. T., Isnawati, & Prayogo, Y. 2016. "Patogenitas Kombinasi Jenis Cendawan Entomopatogen dan Kerapatan Konidia terhadap Mortalitas Larva Ulat Grayak". 9(1), 1–5.
- Hutabalean, M, Pinem, MI & Oemry, S 2015, ‘Uji antagonisme beberapa jamur saprofit dan endofit dari tanaman pisang terhadap *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubens* di laboratorium, *Jurnal Agroekoteknologi*. 3(2), 687- 695.
- Ibrahim, M. E., & Abdelaziz, A. E. 2017. Antagonistic Fungi, Soil Amendment and Soil Solarization as an Integrated Tactics for Controlling *Fusarium* Root Rot of Lupine (*Lupinus termis*). *American Journal of Microbiological Research*, 5(1), 7-14.
- Ilyas, S. 2003. Teknologi Pelapisan Benih. Makalah Seminar Benih Pellet. Departemen Budidaya Pertanian, Faperta IPB. 16 hal.
- Ilyas, S. 2012. Ilmu dan Teknologi Benih. Teori dan hasil-hasil Penelitian. Penerbit IPB Press. Bogor.

- Kaimudin, M., & Leonupun, M. F. (2016). Karakterisasi kitosan dari limbah udang dengan proses bleaching dan deasetilasi yang berbeda. *Indonesian Journal of Industrial Research*, 12(1), 1-7.
- Kharin, A. Y. (2020). Deep learning for scanning electron microscopy: Synthetic data for the nanoparticles detection. *Ultramicroscopy*, 219, 113125.
- Kananont N, Pichyangkura R, Chanprame S, Chadchawan S, Lim-panavech P 2010. Kekhususan kitosan untuk perkecambahan biji in vitro dua anggrek dendrobium (asparagales: Orchi-daceae). *Sains Hortik* 124(2):239–247.
- Kolasinka, K., Szyrmer, J., Dul, S. 2000. Relationship between laboratory seed quality test and field emergence of common bean seed. *Crop Sci.* (40): 470-475.
- Kurniasari, D., & Atun, S. (2017). Pembuatan dan karakterisasi nanopartikel ekstrak etanol temu kunci (boesenbergia pandurata) pada berbagai variasi komposisi kitosan. *Jurnal Sains Dasar*, 6(1), 31-35.
- Kuswanto, H. 2003. Teknologi pemrosesan, Pengemasan, dan penyimpanan Benih. Kanisius, Yogyakarta.
- Lesilolo, M.K., Riry, J., dan Matatula, E.A. 2013. Pengujian Viabilitas nan Vigor Benih Beberapa Jenis Tanaman yang Beredar di Pasaran Kota Ambon. *Agrologia*. 2(1): 1–9.
- Liswarni, Y. E. N. N. Y., & Nurbailis, M. B. 2018. Eksplorasi cendawan endofit dan potensinya untuk pengendalian Phytophthora palmivora penyebab penyakit busuk buah kakao. *Pros Sem Nas Masy Biodiv Indon*, 4(2), 231-235.
- Lowry, G. V., Avellan, A., & Gilbertson, L. M. 2019. Opportunities and challenges for nanotechnology in the agri-tech revolution. *Nature nanotechnology*, 14(6), 517-522.
- Madyam K & Jumpponen A 2005. Seeking the elusive function of the root-colonising dark septate endophytic fungi. *Stud Mycol* 53,173–189.
- Mahakham, W., Sarmah, A. K., Maensiri, S., & Theerakulpisut, P. 2017. Nanoprimering technology for enhancing germination and starch metabolism of aged rice seeds using phytothesized silver nanoparticles. *Scientific reports*, 7(1), 8263.
- Moekasan, T. K., Prabaningrum, L., Adiyoga, W., & De Putter, H. 2014. Panduan Praktis Budi Daya Cabai Merah: Berdasarkan Konsepsi Pengendalian Hama Terpadu (PHT). *Penebar Swadaya Grup*.
- Mustika, S., Suhartanto, M. R., & Qadir, A. 2014. Kemunduran Benih Kedelai Akibat Pengusangan Cepat Menggunakan Alat IPB 77-1 MM dan Penyimpanan Alami. *Bul. Agrohorti*, 2(1), 1-10.
- Naher, L., Yusuf, U. K., Ismail, A., & Hossain, K. (2014). Trichoderma spp.: a biocontrol agent for sustainable management of plant diseases. *Pak. J. Bot*, 46(4), 1489-1493.

- Nieto, M. B. (2009). Structure and function of polysaccharide gum-based edible films and coatings. *Edible films and coatings for food applications*, 57-112.
- Nurahmi, E., Susanna, S., & Sriwati, R. 2012. Pengaruh Trichoderma terhadap perkecambahan dan pertumbuhan bibit kakao, tomat, dan kedelai. *Jurnal Floratek*, 7(1), 57-65.
- Nurani, A. R., Sudiarta, I. P., & Darmiati, N. N. (2018). "Uji Efektifitas Jamur Beauveria bassiana Bals. terhadap Ulat Grayak (Spodoptera litura F .) pada Tanaman Tembakau". *Jurnal Agroekoteknologi Tropika*, 7(1), 11–23
- Nurmansyah. 2010. Efektivitas Minyak Seraiwangi dan Sitronellal terhadap Pertumbuhan Jamur Phytophthora palmivora Penyebab Penyakit Busuk Buah Kakao. Kebun Percobaan Laing Solo Balai Penelitian Tanaman Obat dan Aromatik. *Bul. Littro*. Vol. 21 No. 1, hlm.43 – 52.
- Posada, F., & Vega, F. E. (2005). Establishment of the fungal entomopathogen Beauveria bassiana (Ascomycota: Hypocreales) as an endophyte in cocoa seedlings (Theobroma cacao). *Mycologia*, 97(6), 1195-1200.
- Purnama, P.C., Nastiti, S.J., Situmorang, J. 2003. Uji Patogenisitas Beauveria bassiana (Bals.) Magelang Vuill terhadap Isolat Aphis craccivora Koch. *J. Bio Smart* 5(2): 81-88.
- Rastogi, A., D.K. Tripathi, S. Yadavs, D.K. Chauhan, M. Zivcak, M. Ghorbanpour, N.I. El-Sheery, M. Brestic. 2019. *Application of silicon nanoparticles in agriculture. Biotech.* 9(90):1–11.
- Rizal, S., & Susanti, T. D. (2018). Peranan Jamur Trichoderma sp yang Diberikan terhadap Pertumbuhan Tanaman Kedelai (Glycine max L.). *Sainmatika: Jurnal Ilmiah Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 15(1), 23-29.
- Rusmin, D., F.C. Suwarno, and I. Darwati. 2020. Pengaruh Pemberian Ga 3 Pada Berbagai Konsentrasi Dan Lama Imbibisi Terhadap Peningkatan Viabilitas Benih Purwoceng (Pimpinella pruatjan Molk.). *J. Penelit. Tanam. Ind.* 17(3)
- Saputra, R. 2019. Aplikasi cendawan endofit untuk pengendalian Myzus persicae Sulz. (Hemiptera: Aphididae) dan peningkatan pertumbuhan tanaman cabai (Capsicum annum 1.). Skripsi. Fakultas Pertanian. Universitas Andalas, Padang.
- Sari, M., Widajati, E., & Asih, P. R. 2013. Seed coating sebagai pengganti fungsi polong pada penyimpanan benih kacang tanah. *Jurnal Agronomi Indonesia (Indonesian Journal of Agronomy)*, 41(3).
- Septariani, D. N., Herawati, A., & Mujiyo, M. 2019. Pemanfaatan berbagai tanaman refugia sebagai pengendali hama alami pada tanaman cabai (Capsicum annum L.). *PRIMA: Journal of Community Empowering and Services*, 3(1), 1-9.
- Septiano, A.F., Sutanto, H., & Susilo. 2021. Synthesis and characterization of resin lead acetate composites and ability test of X-ray protection. *Journal Of Physics: Conf Series*, 1918.

- Setiyowati, H., Surahman, M., & Wiyono, S. 2007. Pengaruh seed coating dengan fungisida benomil dan tepung curcuma terhadap patogen antraknosa terbawa benih dan viabilitas benih cabai besar (*Capsicum annum* L.). *Jurnal Agronomi Indonesia (Indonesian Journal of Agronomy)*, 35(3).
- Setyaningsih, N.E. & Septiano, A.F. 2019. Optimasi kualitas citra scanning electron microscopy (sem) dengan metode contrast to noise ratio (CNR). Prosiding Seminar Nasional IV Hasil Penelitian Pranata Laboratorium Pendidikan Indonesia, IV - ISSN: 2548-1924.
- Soesanto L, Soedharmono, Prihatiningsih N, Manan A, Iriani E, & Pramono J. 2005. Potensi agensia hayati dan nabati dalam mengendalikan penyakit busuk rimpang jahe. *J. HPT Tropika* 5(1): 50- 57.
- Soesanto, L., Mugiastuti, E., Rahayuniati, R. F., & Dewi, R. S. 2013. Uji kesesuaian empat isolat *Trichoderma* spp. dan daya hambat in vitro terhadap beberapa patogen tanaman. *Jurnal Hama dan Penyakit Tumbuhan Tropika*, 13(2), 117-123.
- Sonia T, Sharma CP 2011. Kitosan dan Turunannya untuk perspektif penghantaran obat. *Ilmu Polim Lanjutan* 243:23–53.
- Sriwati, R., Chamzurni, T., & Sukarman, S. 2011. Deteksi dan identifikasi cendawan endofit *Trichoderma* yang berasosiasi pada tanaman kakao. *Jurnal Agrista*, 15(1), 15-20.
- Sucahyono, D., Sari, M., Surahman, M., & Ilyas, S. 2013. Pengaruh perlakuan invigorasi pada benih kedelai hitam (*Glycine soja*) terhadap vigor benih, pertumbuhan tanaman, dan hasil. *Jurnal Agronomi Indonesia (Indonesian Journal of Agronomy)*, 41(2).
- Surono, & Narisawa, K. 2017. The dark septate endophytic fungus *Phialocephala fortinii* is a potential decomposer of soil organic compounds and a promoter of *Asparagus officinalis* growth. *Fungal Ecology*, 28, 1–10. Doi: 10.1016/j.funeco.2017.04.001.
- Susanti, U., Salbiah, D., & Laoh, J. H. (2012). Uji beberapa konsentrasi *Metarhizium anisopliae* (Metsch) sorokin untuk mengendalikan hama kepik hijau (*Nezara viridula* L.) pada kacang panjang (*Vigna sinensis* L.).
- tanamancantik. 2019. Gambar Tanaman Cabai Merah Kekinian. <https://tanamancantik.com/22-gambar-tanaman-cabai-merah-kekinian/>.
- Tefa, A., Rusae, A., & Matnai, F. 2019. Pelapisan (*Coating*) pada Benih Cabai Merah Besar (*Capsicum annum* L) untuk Mencegah Penyakit Terbawa Benih. *Savana Cendana*, 4(04), 72-74.
- Tegene, S., Dejene, M., Terefe, H., Tegegn, G., Tena, E., & Ayalew, A. 2021. Evaluation of native *Trichoderma* isolates for the management of sugarcane smut (*Ustilago scitaminea*) in sugar plantations of Ethiopia. *Cogent Food & Agriculture*, 7(1), 1872853.
- Tiyaboonchai W 2003. Nanopartikel kitosan: sistem yang menjanjikan untuk penghantaran obat. *Universitas Naresuan J* 11(3):51–66.

- Trisnawati, Y & Kustanti, E., 2021. *Pengendalian Organisme Pengganggu Tanaman Cabai*. Bogor. Pusat Perpustakaan dan Penyebaran Teknologi Pertanian.
- Trizelia, T., Nurbailis, N., Yanti, Y., Winarto, W., Rahma, H., Martinius, M., & Sulyanti, E. 2019. Pemanfaatan Agen Hayati Untuk Pengelolaan Opt Cabai Pada Kelompok Tani Simabur Sukses Makmur Di Kecamatan Pariangan Kabupaten Tanah Datar. *Jurnal Hilirisasi IPTEKS*, 2, 281-291.
- Van Toan N, Hanh TT 2013. Penerapan larutan kitosan untuk produksi padi di vietnam. *Afr J Bioteknologi* 12(4):382–384.
- Windia, E. S., Sumadi, S., & Nuraini, A. 2018. Pengaruh Pemberian Agen Hayati Pada Benih Dan Pupuk Bokashi Terhadap Mutu Fisiologis Benih Kedelai (*Glycine max* L.(Merill) Kultivar Grobogan. *Agrologia*, 7(1), 288730.
- Yuanasari, B. S., Kendarini, N., & Saptadi, D. (2015). Peningkatan viabilitas benih kedelai hitam (*Glycine max* L. Merr) melalui invigorasi osmoconditioning (Doctoral dissertation, Brawijaya University).
- Yulia, E., Muhadam, H. S., Widiyanti, F., & Kurniawan, W. 2019. Perlakuan benih dengan ekstrak *Anredera cordifolia* untuk menekan kejadian penyakit hawar bibit pada benih cabai terinfeksi *Colletotrichum acutatum*. *Jurnal Agrikultura*, 30(2), 75-82.
- Yuningsih, T. W. (2014). Uji Patogenitas Spora Jamur *Metarhizium Anisopliae* terhadap Mortalitas Larva *Oryctes Rhinoceros* Sebagai Bahan Ajar Biologi SMA Kelas X.
- Zare, Y. (2016). Study of Nanoparticles Aggregation/Agglomeration in Polymer Particulate Nanocomposites by Mechanical Properties. *Composites: Part A*, 84, 158–164.
- ZhangM, Li XH, Gong YD, Zhao NM & Zhang XF.2002. Properties and biocompatibility of chitosan films modified by blending with PEG. *Biomaterials*, 23, 2641- 2648.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Hasil Pengamatan Uji Kompatibilitas Pertumbuhan Koloni Jamur *Trichoderma asperellum*

Data Pengamatan Kontrol

Ulangan	Diameter hari ke- (cm)						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1,5	8	8	8,5	8,5	8,6
2	1,2	2,5	5,2	5,2	6,3	6,3	6,5
3	2	2,9	6,5	6,5	6,9	7	7,1
4	1,8	3	7	7,5	7,6	7,7	7,8
5	1	2	6	6,3	6,5	7	7,8

Data Pengamatan Perlakuan

Ulangan	Diameter hari ke- (cm)						
	1	2	3	4	5	6	7
1	2,5	2,8	5,5	8	8,5	8,5	8,6
2	2,5	3	4,9	5,2	6,3	6,4	7,2
3	3,5	3,9	6,6	6,6	6,9	7	7,8
4	2,5	3	5,5	7,5	7,6	7,7	7,8
5	3	3,2	6,3	6,3	6,5	7	8

Keterangan:

Diameter: CM

Perlakuan	Diameter Koloni Jamur <i>Trichoderma</i> Hari Ke 1-7						
	1	2	3	4	5	6	7
Kontrol	1,4	2,8	6,54	6,7	7,16	7,3	7,56
CH/STPP	2,8	3,18	5,76	7,36	7,16	7,32	7,88
Persentase Penghambat	-100 %	-42 %	12 %	-9 %	-2,5 %	-0,3 %	-4 %

F-Test Two-Sample for Variances

	<i>Kontrol</i>	<i>T.asperellum</i>
Mean	7.56	7.88
Variance	0.633	0.252
Observations	5	5
df	4	4
F	2.511904762	
P(F<=f) one-tail	0.19706599	
F Critical one-tail	6.388232909	

Homogen

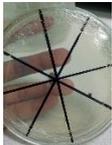
t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances

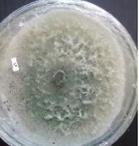
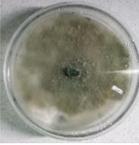
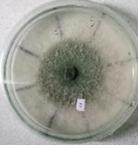
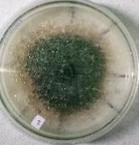
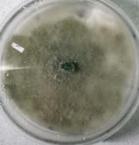
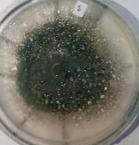
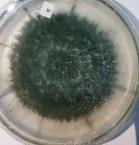
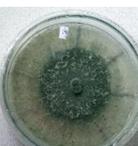
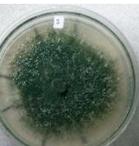
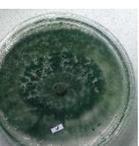
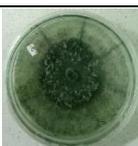
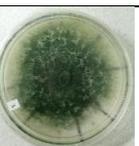
	<i>Kontrol</i>	<i>T.asperellum</i>
Mean	7.56	7.88
Variance	0.633	0.252
Observations	5	5
Pooled Variance	0.4425	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	8	
t Stat	0.760612302	
P(T<=t) one-tail	0.234355622	
t Critical one-tail	1.859548038	
P(T<=t) two-tail	0.468711245	
t Critical two-tail	2.306004135	

tdk beda
t hitung < t tabel nyata
tdk beda
P(T<=t) two-tail > 0,05 nyata

Lampiran 2. Gambar Hasil Pengamatan Uji Kompatibilitas Pertumbuhan Koloni Jamur *Trichoderma asperellum*

Gambar Pengamatan Kontrol

Hari	Ulangan				
	1	2	3	4	5
1					

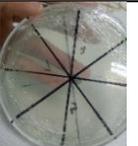
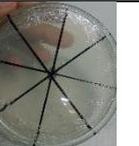
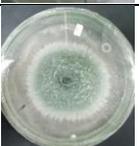
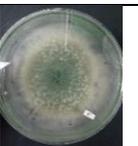
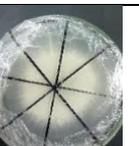
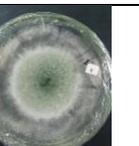
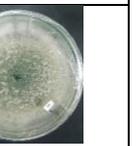
2					
3					
4					
5					
6					
7					

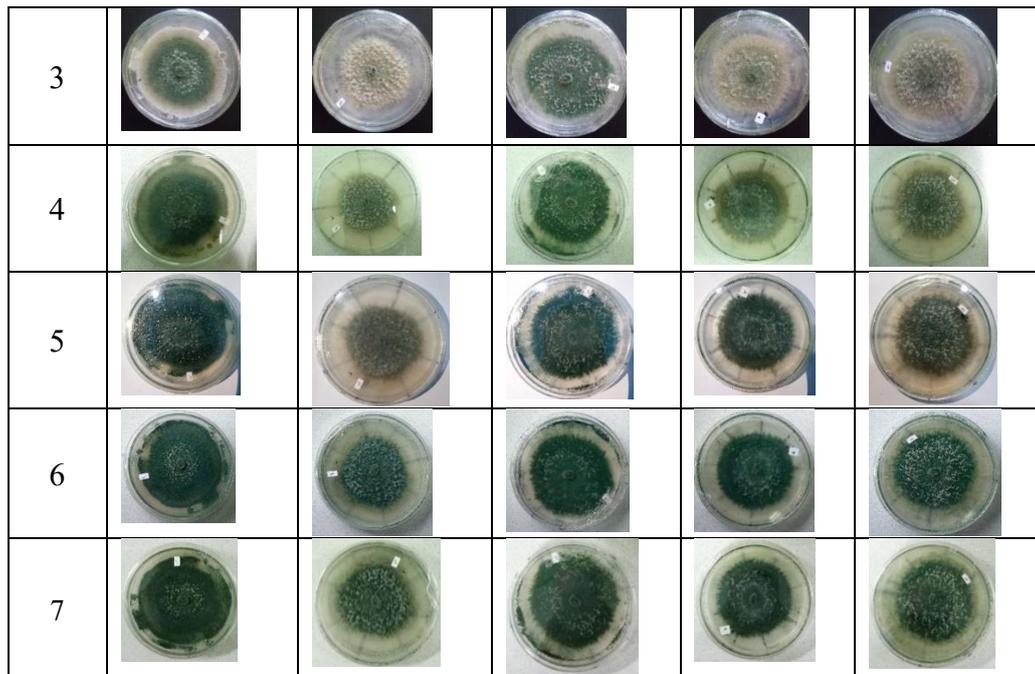
Keterangan :

U: Ulangan (dari atas ke kanan)

H: Hari (dari atas ke bawah)

Gambar Pengamatan Perlakuan

Hari	Ulangan				
	1	2	3	4	5
1					
2					

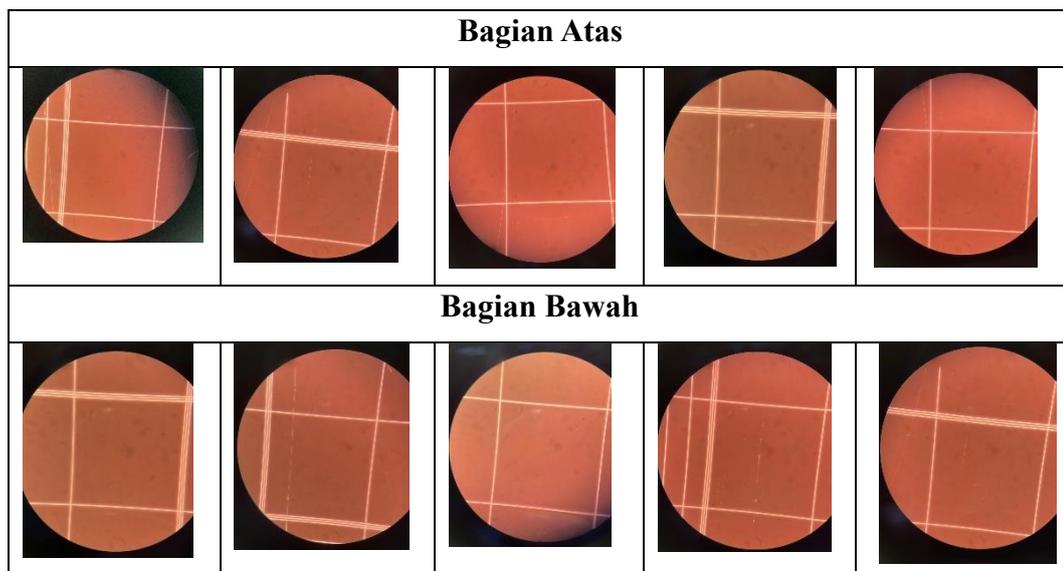


Keterangan:

U: Ulangan (dari atas ke kanan)

H: Hari (dari atas ke bawah)

Lampiran 3. Kerapatan Spora Menggunakan *Haemocytometer* Pada Mikroskop Binokuler Dengan Perbesaran 400x



Lampiran 4. Hasil Perhitungan Kerapatan Pada Mikroskop Binokuler Perbesaran 400x

Bidang Hitung	Kotak ke-1	Kotak ke-2	Kotak ke-3	Kotak ke-4	Kotak ke-5	Jumlah $\frac{t}{n \times 0,25}$
Atas	5	10	9	12	10	2,3
Bawah	13	5	5	6	4	1,65
Rata-rata						3,95

Keterangan

t = jumlah total spora dalam kotak sampel yang diamati

n = jumlah kotak sampel (5 kotak besar x 16 kotak kecil)

0,25 = faktor koreksi penggunaan kotak sampel skala kecil pada *Haemocytometer*

Lampiran 5. Hasil Uji Ukuran Nanopartikel Formulasi CH/STPP

Replikasi	CH/STPP (Kontrol)	Konsentrasi 10%	Konsentrasi 25%	Konsentrasi 50%
	Ukuran (nm)	Ukuran (nm)	Ukuran (nm)	Ukuran (nm)
1	262.6	2104.0	2141.5	3230.3
2	263.8	2161.8	2206.1	3132.8
3	262.9	2187.1	2221.8	3282
Rata-rata	263.1	2151.0	2189.8	3215.0
SD	15.4 nm	70.9 nm	52.1 nm	101.5 nm

Lampiran 6. Hasil Uji ANOVA dan Uji Lanjut Duncan

Descriptive Statistic

		Descriptives							
		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
						Lower Bound	Upper Bound		
Potensi_Tumbuh_Maksimum	Kontrol	4	50.0000	14.14214	7.07107	27.4967	72.5033	30.00	60.00
	10mg	4	72.5000	5.00000	2.50000	64.5439	80.4561	70.00	80.00
	25 mg	4	87.5000	5.00000	2.50000	79.5439	95.4561	80.00	90.00
	50 mg	4	67.5000	9.57427	4.78714	52.2652	82.7348	60.00	80.00
	Total	16	69.3750	16.11159	4.02790	60.7897	77.9603	30.00	90.00
Daya_Berkecambah	Kontrol	4	50.0000	14.14214	7.07107	27.4967	72.5033	30.00	60.00
	10mg	4	72.5000	5.00000	2.50000	64.5439	80.4561	70.00	80.00
	25 mg	4	87.5000	5.00000	2.50000	79.5439	95.4561	80.00	90.00
	50 mg	4	67.5000	9.57427	4.78714	52.2652	82.7348	60.00	80.00
	Total	16	69.3750	16.11159	4.02790	60.7897	77.9603	30.00	90.00
Indeks_Vigor	Kontrol	4	35.0000	19.14854	9.57427	4.5304	65.4696	10.00	50.00
	10mg	4	60.0000	8.16497	4.08248	47.0077	72.9923	50.00	70.00
	25 mg	4	70.0000	14.14214	7.07107	47.4967	92.5033	50.00	80.00
	50 mg	4	32.5000	26.29956	13.14978	-9.3485	74.3485	10.00	70.00
	Total	16	49.3750	23.22893	5.80723	36.9972	61.7528	10.00	80.00
Keserempakan_Tumbuh	Kontrol	4	50.0000	14.14214	7.07107	27.4967	72.5033	30.00	60.00
	10mg	4	72.5000	5.00000	2.50000	64.5439	80.4561	70.00	80.00
	25 mg	4	87.5000	5.00000	2.50000	79.5439	95.4561	80.00	90.00
	50 mg	4	67.5000	9.57427	4.78714	52.2652	82.7348	60.00	80.00
	Total	16	69.3750	16.11159	4.02790	60.7897	77.9603	30.00	90.00

		Descriptives							
		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
						Lower Bound	Upper Bound		
Panjang_Akar	Kontrol	4	1.7500	.28868	.14434	1.2907	2.2093	1.50	2.00
	10mg	4	2.2500	.28868	.14434	1.7907	2.7093	2.00	2.50
	25 mg	4	2.9000	.14142	.07071	2.6750	3.1250	2.70	3.00
	50 mg	4	1.7250	.26300	.13150	1.3065	2.1435	1.50	2.00
	Total	16	2.1563	.54279	.13570	1.8670	2.4455	1.50	3.00

Uji Homogeneity

Test of Homogeneity of Variances

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Potensi_Tumbuh_Maksimum	1.565	3	12	.249
Daya_Berkecambah	1.565	3	12	.249
Indeks_Vigor	1.471	3	12	.272
Keserempakan_Tumbuh	1.565	3	12	.249

Hasil Uji ANOVA

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Potensi_Tumbuh_Maksimum	Between Groups	2868.750	3	956.250	11.195	.001
	Within Groups	1025.000	12	85.417		
	Total	3893.750	15			
Daya_Berkecambah	Between Groups	2868.750	3	956.250	11.195	.001
	Within Groups	1025.000	12	85.417		
	Total	3893.750	15			
Indeks_Vigor	Between Groups	4118.750	3	1372.917	4.145	.031
	Within Groups	3975.000	12	331.250		
	Total	8093.750	15			
Keserempakan_Tumbuh	Between Groups	2868.750	3	956.250	11.195	.001
	Within Groups	1025.000	12	85.417		
	Total	3893.750	15			

ANOVA					
Panjang_Akar					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3.652	3	1.217	19.033	.000
Within Groups	.767	12	.064		
Total	4.419	15			

Hasil Uji Lanjut Duncan

Potensi_Tumbuh_Maksimum

Duncan^a

Konsentrasi	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
Kontrol	4	50.0000		
50mg	4		67.5000	
10mg	4		72.5000	
25mg	4			87.5000
Sig.		1.000	.459	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

Daya_BerkecambahDuncan^a

Konsentrasi	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
Kontrol	4	50.0000		
50mg	4		67.5000	
10mg	4		72.5000	
25mg	4			87.5000
Sig.		1.000	.459	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

Indeks_Vigor

Duncan

Konsentrasi	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
50mg	4	32.5000	
Kontrol	4	35.0000	
10mg	4	60.0000	60.0000
25mg	4		70.0000
Sig.		.064	.452

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

Keserempakan_TumbuhDuncan^a

Konsentrasi	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
Kontrol	4	50.0000		
50mg	4		67.5000	
10mg	4		72.5000	
25mg	4			87.5000
Sig.		1.000	.459	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Panjang_Akar

Duncan^a

Konsentrasi	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
50mg	4	1.7250		
Kontrol	4	1.7500		
10mg	4		2.2500	
25mg	4			2.9000
Sig.		.891	1.000	1.000

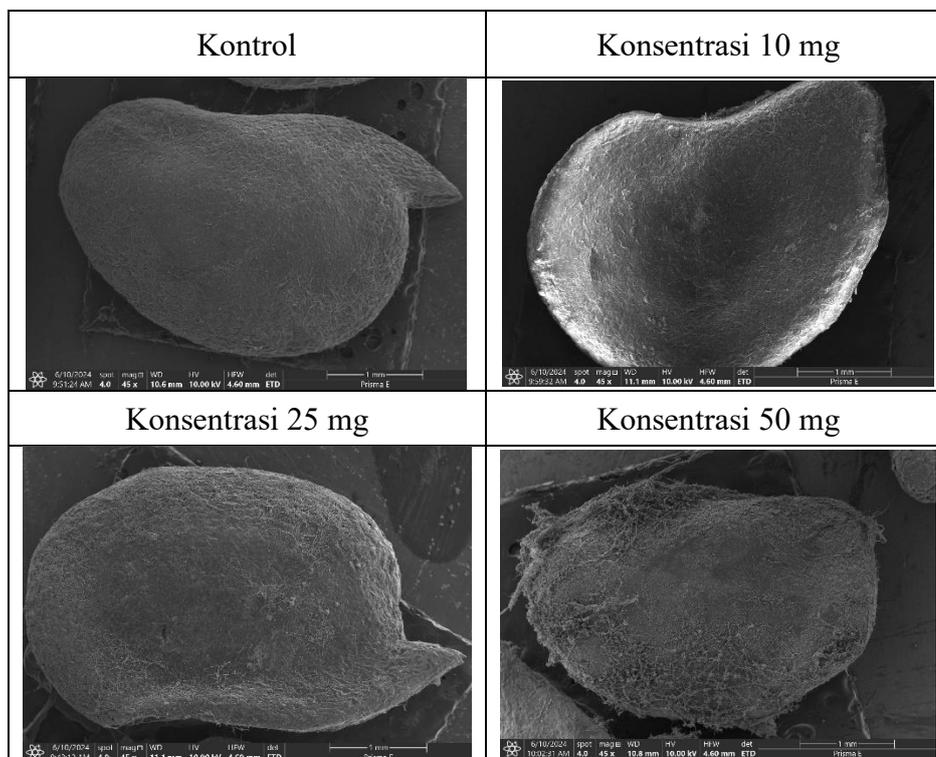
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

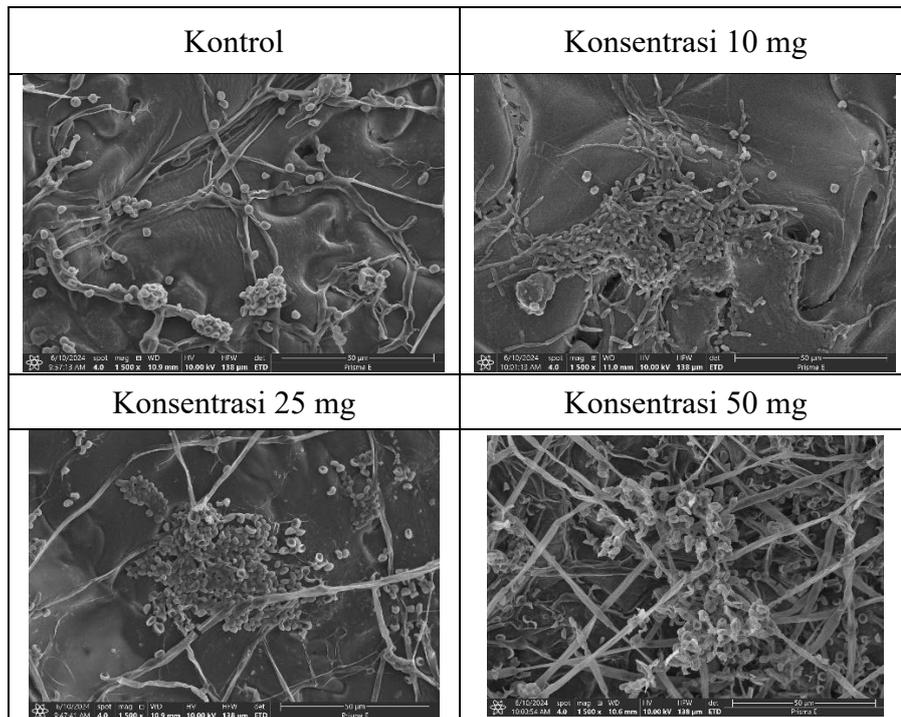
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

Lampiran 7. Hasil Karakterisasi SEM

T. asperellum dibawah *Scanning Mikroskop Elektron* pada perbesaran 45 x



T. asperellum dibawah *Scanning Mikroskop Elektron* pada perbesaran 1500 x



Lampiran 8. Keadaan Visual Bibit Cabai Setelah Diberikan Perlakuan

Kontrol



Konsentrasi 10 mg



Konsentrasi 25 mg



Konsentrasi 50 mg



Lampiran 9. Gambar Panjang Akar Hari ke-14

Ulangan	1	2	3	4
Perlakuan				
Kontrol				
10 mg				
25 mg				



Lampiran 10. Dokumentasi Penelitian

Perbanyak jamur di media cair



Perbanyak jamur di media beras



Porses pencampuran formulasi



Uji kompatibilitas



Proses sentrifugasi formulasi



Pengukuran diameter koloni



Proses ultra thurax



Pengamatan uji kerapatan spora



Porses sonikasi



Karakterisasi SEM



Persiapan media tanah



Proses penyemaian

