

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kakao (*Theobroma cacao* L.) merupakan salah satu komoditi perkebunan yang cukup potensial dalam menyumbang devisa di Indonesia (Hartarto, 2019). Berbagai produk olahan biji kakao yang mampu berkontribusi terhadap devisa negara seperti produk olahan makanan (permen coklat, coklat batangan, bubuk coklat untuk membuat kue), olahan minuman (susu coklat, coklat) dan lemak coklat yang digunakan dalam bidang farmasi (obat-obatan) serta industri kosmetika (lipstik, penghalus dan pelindung kulit). Produk-produk tersebut tidak hanya dikonsumsi kalangan tertentu, melainkan segala lapisan masyarakat khususnya anak-anak dan kaum muda (Hartarto, 2019).

Indonesia merupakan negara penghasil biji kakao terbesar ketiga di dunia setelah Pantai Gading dan Ghana. Kakao mampu menyumbangkan devisa negara melalui ekspor sebesar 1,307 miliar dolar AS tahun 2015. Namun saat ini sumbangan tersebut menurun seiring dengan menurunnya produksi kakao Indonesia dari tahun ke tahun yaitu sejak tahun 2018 sampai 2020 (Ahmad, 2020).

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik BPS (2022), produksi kakao Indonesia pada tahun 2018 tercatat sebesar 767.400 ton. Selanjutnya di tahun 2019 menurun menjadi 734.700 ton dan tahun 2020 sebesar 713.400 ton. Penurunan kembali terjadi di tahun 2021 yaitu menjadi 706.500 ton atau sekitar 0,97% dibanding tahun sebelumnya. Produksi kakao terendah pernah tercatat pada tahun 2017 yaitu sebesar 585.200 ton. Hal ini menunjukkan potensi produksi kakao Indonesia masih jauh dari pencapaian yang diharapkan yaitu sekitar 1 juta ton dengan luas areal 1,7 juta ha.

Salah satu penyebab penurunan produksi, selain bibit yang tidak unggul dan tanaman yang sudah tua, adalah semakin rendahnya produktivitas kakao. Rendahnya produktivitas diakibatkan beberapa hal, yang salah satunya adalah serangan organisme pengganggu tanaman (OPT). Serangan OPT tidak hanya dapat menurunkan hasil produksi, namun juga mampu menurunkan kualitas atau mutu suatu produk. Menurut Defitri (2018), salah satu OPT penting yang menyerang tanaman kakao mulai dari pembibitan sampai tanaman berproduksi adalah *Oncobasidium theobromae*. Patogen ini dapat menyebabkan penyakit pembuluh kayu atau *Vascular Streak Dieback* (VSD) (Semangun, 2000).

Yunasfi (2018) menyatakan bahwa serangan *O. theobroma* merugikan karena dapat menimbulkan klorosis pada daun, sehingga mengganggu proses fotosintesis dan menyebabkan pertumbuhan terhambat. Bahkan pertumbuhan tunas lateral pada ketiak bekas daun yang telah gugur akan mati juga, sehingga daun tanaman akan habis dari ujung dan akhirnya tanaman menjadi mati. Hal ini karena terjadinya perubahan fungsi kloroplas yang tidak normal, dan menghambat perkembangan pada jaringan muda. Penyebab ketidak-normalan ini karena adanya toksin yang dikeluarkan oleh patogen *O. theobroma* tadi (Semangun, 2000).

Penyakit ini merupakan salah satu penyakit penting dibandingkan serangan penggerek buah kakao, tidak hanya memperlemah namun juga secara perlahan dapat membunuh tanaman (Trisno *et. al.*, 2016). Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan menunjukkan banyak tanaman menjadi gundul dan mengakibatkan produksi buah menurun. Trisno *et. al.*, (2016) mengatakan kehilangan hasil akibat serangan VSD pada tahun 2001 mencapai 30.000 ton biji kering atau setara dengan US \$ 20.000.000.

Pengendalian secara kimia sudah dicobakan, namun hanya memberikan pengaruh (racun) terhadap lingkungan sekitar pertanaman (Ika, 2020). Penyakit sukar untuk dicapai fungisida karena berada di dalam berkas pembuluh kayu (xylem) (Hendra *et. al.*, 2019). Matondang (2018) menambahkan, umumnya fungisida sistemik yang ada saat ini diangkut melalui berkas pembuluh tapis (floem), sehingga tidak akan mengenai jamur. Selain itu, infeksi terjadi melalui daun muda yang tumbuh dengan cepat, sehingga sukar untuk dilindungi dengan protektan secara merata.

Oleh sebab itu, perlu adanya alternatif lain untuk pengendalian yang efektif terhadap penyebab penyakit yang ramah lingkungan. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah menggunakan agensia pengendali hayati (APH). Sejauh ini, pengendalian menggunakan APH sudah banyak dilakukan walaupun teknik dan cara pengendalian masih perlu terus dikembangkan (Hutapea, 2017).

Hasil penelitian menyebutkan beberapa APH yang efektif dalam menangani serangan patogen, antara lain *Trichoderma* sp. dan *Pseudomonas fluorescens*. Hutapea (2017) melaporkan bahwa perlakuan *Trichoderma* sp. isolat bawang merah formula cair berpengaruh dalam menurunkan intensitas serangan *O. theobromae* sebesar 56,8%. Selain itu, agensia lainnya seperti *Pseudomonas fluorescens* juga merupakan bakteri antagonis yang banyak digunakan untuk mengendalikan jamur ataupun bakteri patogen tanaman. Soesanto (2019) mengatakan *P. fluorescens* P60 telah mampu menunjukkan kemampuan dalam mengendalikan beberapa patogen khususnya patogen tular tanah, baik *in vitro*, *in planta*, maupun *in vivo* karena bakteri ini mempunyai sifat “*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*” (PGPR).

Namun, penggunaan *Trichoderma* sp. dan *P. fluorescens* sangat peka terhadap lingkungan dan tidak dapat masuk ke dalam jaringan tanaman (Soesanto *et al.*, 2020). Artinya penggunaan APH secara konvensional dalam mengatasi OPT masih kurang. Oleh karena itu perlu adanya metabolit sekunder APH yang dapat masuk ke dalam jaringan tanaman dan tahan terhadap cekaman lingkungan.

Soesanto *et al.*, (2020) mengatakan metabolit sekunder adalah hasil organisme atau mikroba yang dibuang karena tidak secara langsung terlibat dalam pertumbuhan, perkembangan, dan reproduksi organisme yang berupa antibiotika, enzim, hormon dan toksin. Metabolit sekunder juga dapat menjangkau keberadaan OPT dalam jaringan tanaman dengan mekanisme yang beragam sesuai kandungan di dalam metabolitnya (Soesanto *et al.*, 2020).

Sebelumnya, pengujian tentang pengendalian penyakit VSD menggunakan metabolit sekunder APH dengan teknik infus akar juga sudah pernah dilakukan oleh Simamora (2021). Namun, hasilnya kurang efisien untuk direkomendasikan kepada petani atau pekebun swasta dengan luasan kakao yang sangat luas. Pengendalian akan menghabiskan tenaga, waktu dan biaya yang cukup besar.

Berdasarkan hal diatas, maka penelitian ini melakukan pengujian yang sama namun dengan teknik yang berbeda. Pengujian tentang pengendalian penyakit VSD pada tanaman kakao menggunakan metabolit sekunder *Trichoderma* sp. dan *Pseudomonas fluorescens* dengan teknik penyemprotan dan dosis yang berbeda-beda. Penyemprotan dilakukan pada seluruh bagian tanaman terutama permukaan bawah daun. Dengan harapan penyakit yang sampai saat ini belum dapat teratasi dapat teratasi oleh petani ataupun kebun swasta secara efektif.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka rumusan masalah yang diajukan dalam penelitian ini adalah:

1. Mampukah metabolit sekunder *Trichoderma* sp. dan *P. fluorescens* secara tunggal maupun kombinasi mengendalikan penyakit pembuluh kayu atau *Vascular Streak Dieback* (VSD) pada tanaman kakao.
2. Mampukah konsentrasi metabolit sekunder *Trichoderma* sp. dan *P. fluorescens* mengendalikan penyakit pembuluh kayu atau *Vascular Streak Dieback* (VSD) pada tanaman kakao.
3. Adakah interaksi positif antara metabolit sekunder *Trichoderma* sp. dan *P. fluorescens* dengan konsentrasi dalam mengendalikan penyakit pembuluh kayu atau *Vascular Streak Dieback* (VSD) pada tanaman kakao.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah:

1. Untuk mengetahui potensi metabolit sekunder *Trichoderma* sp. dan *P. fluorescens* secara tunggal maupun kombinasi dalam mengendalikan penyakit pembuluh kayu atau *Vascular Streak Dieback* (VSD) pada tanaman kakao.
2. Untuk mengetahui pengaruh konsentrasi metabolit sekunder *Trichoderma* sp. dan *P. fluorescens* dalam mengendalikan penyakit pembuluh kayu atau *Vascular Streak Dieback* (VSD) pada tanaman kakao.
3. Untuk mengetahui interaksi positif antara metabolit sekunder *Trichoderma* sp. dan *P. fluorescens* dengan konsentrasi dalam mengendalikan penyakit pembuluh kayu atau *Vascular Streak Dieback* (VSD) pada tanaman kakao.

1.4 Hipotesis

Hipotesis yang diajukan dalam penelitian ini adalah:

1. Diduga adanya potensi metabolit sekunder *Trichoderma* sp. dan *P. fluorescens* secara tunggal maupun kombinasi dalam mengendalikan penyakit pembuluh kayu atau *Vascular Streak Dieback* (VSD) pada tanaman kakao.
2. Diduga adanya pengaruh konsentrasi metabolit sekunder *Trichoderma* sp. dan *P. fluorescens* dalam mengendalikan penyakit pembuluh kayu atau *Vascular Streak Dieback* (VSD) pada tanaman kakao.
3. Diduga adanya interaksi positif antara metabolit sekunder *Trichoderma* sp. dan *P. fluorescens* dengan konsentrasi dalam mengendalikan penyakit pembuluh kayu atau *Vascular Streak Dieback* (VSD) pada tanaman kakao.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Bagi petani, dapat dijadikan sebagai rekomendasi teknis dalam pengendalian penyakit pembuluh kayu atau *Vascular Streak Dieback* (VSD).
2. Bagi instansi Pemerintah, dapat menjadi tambahan masukan dalam rekomendasi teknis dalam pengendalian penyakit pembuluh kayu atau *Vascular Streak Dieback* (VSD)
3. Bagi peneliti, penelitian ini sebagai langkah awal dalam penerapan ilmu pengetahuan dan sebagai pengalaman yang dapat dijadikan sebagai referensi.

1.6 *Success story on Plantation* atau Kajian Penelitian Sebelumnya.

Beberapa hasil penelitian menyebutkan metabolit sekunder *Trichoderma* sp. dan *Pseudomonas fluorescens* efektif dalam menangani serangan patogen termasuk penyebab penyakit VSD (Tabel 1).

Tabel 1. *Success Story on Plantation* atau Beberapa Kajian Penelitian yang Berhasil Menggunakan Metabolit Sekunder untuk Pengendalian Hama/Penyakit Tanaman Perkebunan.

Tanaman	Hama/Penyakit	Lokasi	Tahun	Penurunan serangan (%)	Jenis Metabolit sekunder
Kakao	VSD	Purwokerto	2019	88-90	<i>Trichoderma</i> sp.
		Sigi	2015	62,87	
		Jawa Timur	2014	85,78	
		Sumatera Utara	2018	65	<i>Trichoderma</i> sp. dan <i>P. fluorescens</i>
			2021	40	
Tembakau	Aphid	Jawa Barat	2017	66,18	<i>Trichoderma</i> sp.
Kopi	PBKo	Jawa Barat	2017	73,82	
		Sumatera Utara	2020	85,45	<i>Beauveria bassiana</i> , <i>Trichoderma</i> sp. dan <i>P. fluorescens</i>
	Kutu Hijau	Jawa Barat	2017	100	<i>Trichoderma</i> sp.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Botani Tanaman Kakao

Kakao terdiri dari beberapa jenis, yaitu criollo, forastero, dan trinitario.

Menurut Tjitrosoepomo (2019) sistematik tanaman kakao adalah sebagai berikut:

Divisi	: Spermatophyte
Anak divisi	: Angioospermae
Kelas	: Dicotyledoneae
Bangsa	: Malvales
Suku	: Sterculiaceae
Marga	: <i>Theobroma</i>
Spesies	: <i>Theobroma cacao</i> L

Kakao merupakan salah satu tanaman perkebunan yang umumnya tumbuh di daerah tropika. Sehingga curah hujan, suhu udara, dan sinar matahari menjadi bagian dari faktor iklim yang menentukan. Begitu pula dengan faktor fisik dan kimia tanah yang erat kaitannya dengan daya tembus dan kemampuan akar menyerap hara (Rahma *et al.*, 2019).

Indonesia yang berada pada 5° LU-10° LS masih sesuai untuk pertanaman kakao. Ketinggian tempat di Indonesia yang ideal untuk penanaman kakao adalah < 800 m dari permukaan laut (Nurhayati *et al.*, 2022). Tanah yang baik untuk pertumbuhan tanaman kakao memiliki sifat, seperti solum minimum 90 cm dan cukup gembur, serta banyak mengandung bahan organik. Tanaman kakao dapat tumbuh optimum pada pH 6-7,5. Kemiringan tanah maksimum 40° (Sutomo *et al.*, 2020).

2.2 Morfologi Tanaman Kakao

2.2.1 Akar

Akar tanaman kakao merupakan akar tunggang atau disebut radix primaria, pertumbuhannya dapat mencapai 8 m ke arah samping dan 15 m ke arah bawah yang berwarna kecoklatan (Firdausil *et al.*, 2019).

Firdausil *et al.*, (2019) mengatakan perakaran kakao tumbuh dengan cepat pada bibit dari biji yang baru berkecambah dengan panjang akar 1 cm dan umur 1 minggu menjadi 16-18 cm pada umur satu bulan.

Menurut Franky (2018) akar tunggang berbentuk kerucut panjang, tumbuh lurus ke bawah, bercabang-cabang banyak sehingga dapat memberi kekuatan yang lebih besar pada batang. Luasnya perakaran kakao menyebabkan tanaman tersebut lebih banyak menyerap air dan zat-zat hara. Warna akar tanaman kakao adalah coklat. Kakao yang diperbanyak secara vegetatif pada awal pertumbuhannya tidak menumbuhkan akar tunggang, melainkan akar-akar serabut yang banyak jumlahnya. Setelah dewasa tanaman tersebut menumbuhkan dua akar yang menyerupai akar tunggang (Franky, 2018).

2.2.2 Batang

Tanaman kakao memiliki batang berkayu dan berbentuk bulat dengan dua sifat percabangan yang disebut dimorfisme. Cabang yang arah tumbuhnya ke atas disebut cabang ortotrop, sedangkan cabang-cabang yang arah pertumbuhannya ke samping disebut cabang plagiotrop (Karmawati *et al.*, 2018) Pada umur 3 tahun tanaman kakao bisa mencapai tinggi berkisar 1,8 – 3 meter dan pada umur 12 tahun dapat mencapai 4,5 – 7 meter.

Tanaman kakao asal dari biji, setelah mencapai tinggi 0,9 – 1,5 meter akan berhenti tumbuh dan membentuk jorket. Jorket adalah tempat percabangan dari pola-pola percabangan ortotrop ke plagiotrop (Sigit, 2019).

2.2.3 Daun

Daun kakao juga bersifat dimorfisme. Daun yang terletak pada tunas ortotrop memiliki tangkai daun dengan panjang berkisar 7,5 – 10 cm sedangkan daun yang terletak pada tunas plagiotrop panjang tangkai daun berkisar 2,5 cm. Daun tanaman kakao memiliki satu sifat khusus yaitu adanya dua persendian yang terdapat pada tangkai daun sehingga daun mampu membuat gerakan untuk menyesuaikan dengan daerah datangnya sinar matahari.

Tangkai daun tanaman kakao berbentuk silinder dan bersisik halus. Susunan tulang daun tanaman kakao berbetuk menyirip dan tulang daun menonjol kebawah permukaan daun tanaman kakao berbentuk memanjang, ujung daun meruncing, dan pangkal daun runcing. Tepi daun tipis tetapi kuat. Warna daun hijau tua tergantung pada kultivarnya. Panjang daun dewasa mencapai 30 cm dan lebarnya 10 cm (Khadir, 2019).

2.2.4 Bunga

Warna yang kuat terdapat pada benang sari dan daun mahkota pada tanaman kakao. Pada umumnya bunga tanaman kakao berwarna putih, ungu atau kemerahan. Panjang tangkai bunga berkisar 1 – 1,5 cm dan berukuran kecil. Daun mahkota panjangnya 6 – 8 mm (Andika, 2018).

2.2.5 Buah

Kartika (2017) menyatakan warna buah kakao sangat beragam, tetapi pada dasarnya hanya ada dua macam warna buah kakao, yaitu buah yang ketika muda

berwarna hijau jika matang berwarna kuning dan buah yang ketika muda berwarna merah setelah matang berwarna jingga (orange). Kulit buah memiliki 10 alur dalam dan dangkal yang letaknya berselang-seling. Permukaan kulit buah kakao pada umumnya halus dan kulitnya tipis. Buah akan matang setelah berumur 6 bulan. Pada saat itu ukurannya beragam berkisar antara 10 – 30 cm.

2.3 Penyakit Pembuluh Kayu/*Vascular Streak Dieback* (VSD)

Penyakit VSD disebabkan jamur patogen *Oncobasidium theobromae*, merupakan penyakit penting tanaman kakao yang menyebabkan kerusakan pada bagian vegetatif (Raya, 2017). Kerusakan tersebut mengakibatkan kerugian hasil yang besar sebab tanaman tidak dapat berproduksi secara optimum karena terganggunya proses fotosintesis, bahkan pada tingkat serangan lanjut dapat mengakibatkan kematian tanaman (Defitri, 2018). Penyebab penyakit menyerang semua stadia tanaman, sejak pembibitan hingga stadium produktif. Jamur membentuk basidiospora yang merupakan sumber infeksi dari jamur dan semakin berkembang saat kelembapan tinggi (Semangun, 2000). VSD lebih banyak terdapat pada kakao lindak (*bulk*) dan kurang pada kakao mulia (Susiyanto *et al.*, 2017). Kakao lindak lebih rentan terhadap penyakit VSD dibandingkan kakao lindak.

2.3.1 Gejala Serangan Penyakit *Vascular Streak Dieback* (VSD)

Gejala serangan penyakit VSD terdapat pada daun, ranting dan cabang menurut Matondang dan Marpaung (2015) adalah:

1. Daun menguning, terutama pada daun kedua dan ketiga dari ujung. Pada daun terdapat bercak-bercak hijau kecil yang berbatas tegas. Daun akan gugur, lepas dari rantingnya (Gambar 1).



Gambar 1. Serangan penyakit VSD menyebabkan daun menguning.
Sumber : Dokumentasi Penelitian, 2024.

2. Pada bekas dudukan daun yang sakit bila disayat akan tampak 3 bintik kecoklatan. Ini merupakan jalan masuk penyakit ke ranting (Gambar 2).



Gambar 2. Serangan VSD berupa 3 noktah pada bekas dudukan daun dan ranting.
Sumber : Dokumentasi Penelitian, 2024.

3. Pada ranting yang bersangkutan terjadi gejala “ompong” satu atau dua daun gugur, sementara beberapa daun di sebelah atas dan bawahnya masih lengkap (Gambar 3).



Gambar 3. Gejala serangan penyakit VSD berupa ranting ompong.
Sumber : Dokumentasi Penelitian, 2024.

4. Permukaan ranting menjadi kasar dan belang-belang. Bila ranting dibelah membujur akan tampak garis-garis kecoklatan. Penyakit ini menyebabkan matinya ranting. Apabila serangan berlanjut, maka akan menyebabkan kematian jaringan sampai cabang atau batang pokok (Gambar 4).



Gambar 4. Gejala serangan penyakit VSD berupa garis kecoklatan pada ranting. Sumber : Dokumentasi Penelitian, 2024.

2.3.2 Faktor yang Mempengaruhi

Penyakit terutama berkembang di daerah yang basah. Tidak hanya curah hujan, tetapi jumlah musimnya juga. Jika jumlah malam basah lebih dari 50% dalam satu bulan, dapat diperkirakan bahwa tiga sampai lima bulan kemudian penyakit akan tampak meningkat (Semangun, 2000). Hal ini disebabkan pembentukan basidiospora tubuh buah jamur harus dalam kondisi basah. Adanya hujan pada malam hari, diikuti dengan embun, akan membantu penyebaran penyakit. Spora jamur yang mempunyai dinding tipis itu mudah mati karena sinar ultra violet pada siang hari (Semangun, 2000).

Harni *et. al.*, (2019) menyatakan berkembangnya penyakit disebabkan interaksi beberapa faktor, antara lain klon yang ditanam, iklim yang lebih basah, sistem budidaya tanaman yang tidak tepat (jarak tanam, pohon penayang, terasering, drainase), dan pemeliharaan tanaman yang minim (pemangkasan tanaman dan penayang, pemupukan, sanitasi kebun dan pengendalian hama dan penyakit). Susilo dan Sari (2018) juga menambahkan bahwa selain kelembapan yang tinggi,

pensporaan juga memerlukan suhu yang rendah. Oleh karena itu, penyakit VSD lebih mudah tersebar di daerah beriklim basah dengan curah hujan yang tersebar merata sepanjang tahun daripada di daerah beriklim kering (Semangun, 2000).

2.3.3 Pengendalian Penyakit VSD

Beberapa cara pengendalian penyakit VSD secara terpadu dapat dilakukan dengan mengkombinasikan antara pangkasan sanitasi, memperbaiki kultur teknis/sistem budidaya tanaman, rehabilitasi tanaman, penanaman bibit sehat/klon tahan, pengendalian secara hayati dan kimia dengan menggunakan fungisida.

2.3.3.1 Pangkasan Sanitasi

Pangkasan sanitasi dilakukan dengan cara menghilangkan ranting atau cabang sakit guna mengurangi kelembapan kebun agar tidak sesuai untuk perkembangan penyakit. Pemotongan ranting atau cabang sakit dilakukan sampai batas garis coklat pada jaringan kayu (xylem) ditambah 30 cm ke arah cabang atau batang (Susanto, 2018). Pangkas tunas air (wiwilan) pada batang atau cabang wajib dilakukan 1 minggu sekali, karena bila infeksi terjadi pada daun wiwilan maka cabang atau batang yang berada di dekatnya juga akan terinfeksi dan mati lebih cepat (Matondang dan Muklasin, 2018).

2.3.3.2 Memperbaiki Kultur Teknis

Perbaikan kultur teknis dilakukan dengan perbaikan drainase pada lahan datar yang sering tergenang, pembuatan terasering pada lahan miring, pemangkasan pelindung yang terlalu lebat/rimbun, penggantian pelindung yang tidak sesuai, penjarangan tanaman yang terlalu rapat dan pemberian pupuk yang berimbang. Secara umum, pemberian pupuk Kalium 1,5 kali dosis dianjurkan untuk meningkatkan ketahanan tanaman terhadap serangan penyakit (Matondang dan

Muklasin, 2018). Tanaman kakao banyak ditanam pada lahan yang telah ditanami tanaman lain, seperti kelapa, durian, sengon, langsung, dan tanaman hutan. Tanaman kakao yang berkembang pada kondisi tertutup, dapat menyebabkan organisme pengganggu tanaman (OPT) mudah berkembang. Tanaman penabung ini berakibat pada berkurangnya pergerakan udara, mengurangi masuknya sinar matahari, dan meningkatkan kelembapan udara (Matondang dan Muklasin, 2018).

Terlalu banyak pohon penabung lebih merugikan daripada menguntungkan. Selain terjadi persaingan dengan tanaman pokok dalam hal pengambilan unsur hara dan air, tanaman pokok juga akan kekurangan cahaya. Lain halnya tanaman yang sudah berproduksi, terlampaui banyak tanaman penabung menyebabkan buah akan berkurang, tumbuhnya jaringan kurang sempurna dan terjadi serangan jamur karena kelembapan yang terlalu tinggi lebih dari 50% (Matondang dan Muklasin, 2018).

2.3.3.3 Rehabilitasi Tanaman

Tanaman produktif yang telah terserang dapat dilakukan rehabilitasi tanaman dengan cara sambung samping atau pucuk dengan entres dari klon yang tahan. Setelah tunas sambungan hidup, ranting dan cabang tanaman yang disambung dipangkas secara bertahap hingga hanya tinggal bagian tanaman yang berkembang dari klon yang tahan (Tjahjana dan Sobari, 2018).

2.3.3.4 Penanaman Bibit Sehat

Areal tanaman baru, bibit yang ditanam haruslah betul-betul sehat dan bukan berasal dari areal yang terserang VSD. Biji tidak menularkan penyakit, sehingga pengambilan biji dari daerah terserang untuk dijadikan bibit di daerah tidak terserang tidak menjadi masalah (Matondang dan Muklasin, 2018).

2.3.3.5 Penanaman Klon Tahan

Penanaman baru kakao pada daerah endemis VSD tidak menggunakan klon yang sudah terbukti rentan atau telah banyak terserang. Tindakan yang paling efektif dalam pengendalian penyakit VSD adalah penanaman klon tahan. Bahan tanaman atau bibit klon tahan VSD dapat diperoleh dengan cara konsultasi dengan Pusat Penelitian Kakao dan Kopi (Puslit Koka) Jember (Susiyanto *et al.*, 2017).

2.3.3.6 Penggunaan Fungisida Kimia

Penggunaan fungisida untuk pengobatan belum dapat dianjurkan sebab jamur terdapat di dalam berkas pembuluh kayu (xylem). Pada umumnya, fungisida sistemik yang ada dewasa ini diangkut melalui berkas pembuluh tapis (floem). Menurut Semangun (2000), senyawa Triazol digunakan dalam kebun untuk mengurangi sumber dan intensitas penyakit di Malaysia. Soesanto (2017) mengatakan penggunaan fungisida bertujuan untuk penyemprotan perlindungan daun flush. Penyemprotan ini diharapkan membuat spora yang jatuh pada daun flush tidak berkecambah dan tidak menginfeksi daun.

2.3.3.7 Secara Biologi

Pengendalian biologi adalah memungkinkan, namun tampaknya harus menggunakan musuh alami yang bersifat endofit untuk dapat berkompetisi dalam jaringan tanaman. Sejumlah musuh alami endofit yang telah diidentifikasi pada tanaman kakao, seperti *Colletotrichum*, *Botryosphaeria*, *Nectria* dan *Trichoderma* (Mejia *et al.*, 2004). Penggunaan cendawan endofit ini dilakukan melalui daun terserang atau melalui penginfusan (Bowers *et al.*, 2001). Selain itu, dapat juga menggunakan *Pseudomonas fluorescens* (Pf) untuk mengendalikan penyakit VSD (Matondang dan Muklasin, 2018).

2.4 Metabolit Sekunder

Metabolit sekunder adalah hasil organisme atau mikroba yang dibuang karena secara tidak langsung terlibat dalam pertumbuhan, perkembangan, dan reproduksi organisme (Soesanto *et al.*, 2020). Menurut Nurhayati *et. al.*, (2022), metabolit sekunder adalah senyawa hasil biosintesis turunan dari metabolit primer yang dibentuk pada kondisi stres atau cekaman, yang berguna untuk pertahanan diri dari lingkungan maupun dari serangan organisme lain, tetapi tidak digunakan untuk pertumbuhan organisme atau mikroba.

Metabolit sekunder umumnya dibentuk di akhir pertumbuhan yang berupa sisa metabolisme, sehingga tidak dibutuhkan untuk kehidupan organisme tersebut, berupa antibiotika, enzim, hormon dan toksin. Kelebihan menggunakan metabolit sekunder yaitu mudah diaplikasikan dengan berbagai cara dan dalam berbagai kondisi karena tidak terpengaruh oleh perbedaan lokasi dan cuaca atau iklim (Soesanto, 2015).

Lebih lanjut dikatakan Soesanto (2015), bahwa peran metabolit sekunder APH dapat secara tunggal, artinya hanya satu jenis metabolit sekunder saja yang berguna. Akan tetapi, umumnya metabolit sekunder APH berperan ganda, baik secara aditif maupun sinergis. Hal ini sering nampak pada hasil aplikasi APH, selain dapat mengatasi atau mengendalikan OPT juga dapat berpengaruh kepada tanamannya, khususnya terhadap pertumbuhan tanaman. Metabolit sekunder APH juga dapat menjangkau keberadaan OPT didalam jaringan tanaman, dan dengan mekanisme yang beragam sesuai kandungan di dalam metabolit sekunder APH.

2.4.1 Metabolit Sekunder *Trichoderma* sp.

Banyak OPT perkebunan yang tidak dapat diatasi dengan cara apapun, baik dengan kimia maupun dengan non-kimia. Hal ini karena keberadaan OPT perkebunan di dalam jaringan tanaman sukar diketahui. Selain itu, kerja dari cara kimia atau non-kimia seringkali bersifat tunggal, sehingga tidak lengkap di dalam mengendalikan OPT tersebut (Soesanto, 2019).

Penggunaan mikroba antagonis dianggap sebagai suatu strategi pengendalian yang dapat memberikan hasil yang lebih baik dan aman terhadap lingkungan, tetapi masih memerlukan penelitian, terutama untuk aplikasi luas di lapangan sering tidak memuaskan. Salah satu agensia hayati yang dapat digunakan adalah *Trichoderma* spp. Jamur ini merupakan salah satu jamur antagonis yang banyak digunakan untuk mengendalikan jamur patogen tumbuhan. Sukanto (2020) menjelaskan, pengendalian agensia hayati jamur *Trichoderma* spp. dapat digunakan pada buah kakao di kebun, akan tetapi hasilnya tidak sebaik fungisida tembaga. Namun untuk menghindari pencemaran lingkungan dan pengembangan produk organik sangat perlu diterapkan.

Mekanisme antagonis jamur ini adalah parasitisme, lisis, antibiosis dan kompetisi ruang (Soesanto *et. al.*, 2020). Selain dapat digunakan langsung untuk mengendalikan patogen, Radder (2019) menambahkan filtrat *Trichoderma* juga dilaporkan mampu mengendalikan patogen tumbuhan. Hambatan pertumbuhan patogen dikarenakan adanya kemampuan *Trichoderma* sp. untuk mendominasi tempat hidup dan sumber makanan serta melakukan pelilitan hifa pada jamur antagonis. *Trichoderma* sp. menghasilkan beberapa senyawa antibiotik seperti alametichin, paracelsin, trichotoxin yang dapat menghancurkan sel cendawan

antagonis melalui perusakan terhadap permeabilitas membran sel, serta enzim chitinase, dan laminarinase yang dapat menyebabkan lisis dinding sel cendawan antagonis. Menurut Arya dan Perello (2010), *Trichoderma* sp. mampu mengeluarkan senyawa antibiotik seperti gliotoksin dan glioviridin. Pernyataan ini dipertegas oleh Vey *et. al.*, (2001), yang menyatakan bahwa senyawa antibiotik gliotoksin dan glioviridin mempengaruhi dan menghambat banyak sistem fungsional dan membuat patogen rentan.

Herman *et. al.*, (2019) menjelaskan bahwa *Trichoderma* sp. menghasilkan enzim hidrolisis β -1,3 glukukanase, kitinase dan selulase yang dapat melarutkan dinding sel patogen. Beberapa anggota genus *Trichoderma* menghasilkan toksin trichodermin, bila hidup pada tanaman hidup. *T. viridae* menghasilkan 2 jenis antibiotika, yaitu gliotoksin dan viridian yang dapat melindungi tanaman bibit dari serangan patogen. Berdasarkan hasil penelitian Herman tersebut, *T. viridae* dapat menekan perkembangan jamur *O. theobromae* sebesar 85,78%.

Kandungan metabolit sekunder *Trichoderma* sp. cukup banyak dan lengkap. Selain itu, beberapa enzim juga dihasilkan oleh APH ini yang terkandung di dalam metabolit sekundernya, dan peran enzim sangat penting di dalam menunjang adalah satu mekanisme antagonis, yaitu miko parasit atau hiperparasit. Enzim yang terdapat di dalam metabolit sekunder *Trichoderma* spp., di antaranya protease, selulase, selubiase, khitinase, dan 1,3- β -glukanase (Soesanto, 2015). Hasil penelitian Hutapea (2017), melaporkan bahwa perlakuan *Trichoderma* sp. berpengaruh nyata terhadap persentase serangan patogen *O. theobromae*. Perlakuan dengan menggunakan metabolit sekunder *Trichoderma* sp. isolat jahe mampu menekan intensitas penyakit sebesar 62,17%.

2.4.2 Metabolit Sekunder *Pseudomonas fluorescens*

Bakteri antagonis *P. fluorescens* menghasilkan metabolit sekunder yang mempunyai berat molekul rendah, yang berperan sebagai agensia anti jamur. Metabolit sekunder yang dihasilkan oleh *P. fluorescens* memegang peranan penting dalam pengendalian hayati, seperti siderofor, pterin, pirol, fenazin dan aneka senyawa antibiotika. Metabolit sekunder tertentu berperan di dalam membunuh secara langsung atau hanya menghambat patogen. Produksi metabolit sekunder antimikroba dan pengaruhnya terhadap patogen tanaman sangat tergantung pada faktor lingkungan, seperti kimia tanah, suhu dan potensi air (Soesanto, 2022).

Metabolit sekunder antagonis *P. fluorescens* P60 yang telah beradaptasi mampu mengkoloni akar tanaman dan dapat merangsang tanaman untuk meningkatkan produksi senyawa metabolit sekunder yang berperan dalam ketahanan tanaman (Soesanto, 2022). Hal ini diperkuat oleh Soesanto *et. al.*, (2020), semakin tinggi kandungan fenol, maka semakin meningkat ketahanan terimbas tanaman dalam menahan serangan patogen. Hal ini terbukti dari hasil analisis jaringan peningkatan senyawa fenol akibat pemberian *P. fluorescens* P60. Pemberian bakteri antagonis tersebut secara berkala diduga mampu mengkoloni perakaran dan berpengaruh efektif sebagai rizobakteri pemacu pertumbuhan tanaman (PPT) yang ditunjukkan oleh tingginya populasi antagonis tersebut.

Wardhana *et. al.*, (2015) dan Soesanto *et. al.*, (2020) menyatakan bahwa bakteri *P. fluorescens* P60 dapat menguntungkan pada perkembangan dan pertumbuhan tanaman sebagai rizobakteri pemacu pertumbuhan tanaman. Hal ini ditunjukkan dengan adanya peningkatan tinggi tanaman dan kecenderungan peningkatan panjang akar. Antagonis *P. fluorescens* P60 menghasilkan asam indol

asetat (IAA) yang berperan sebagai pendukung pertumbuhan sehingga mampu untuk meningkatkan bobot kering tanaman. Hal ini sesuai dengan pernyataan Soesanto *et. al.*, (2020) bahwa *P. fluorescens* P60 mampu menghasilkan IAA yang mampu mendukung pertumbuhan tanaman. Penelitian Raya (2017) menyebutkan lebih lanjut perlakuan pemberian *P. fluorescens* P19 dan *P. fluorescens* P20 dapat menekan penyakit layu *Fusarium* pada tanaman tomat hingga 37,12 dan 34,8% atau masing-masing sebesar 23,42 dan 28,20% dibandingkan kontrol.

2.5 Formulasi Metabolit Sekunder *Trichoderma* sp.

2.5.1 Air Kelapa

Air kelapa merupakan cairan endosperm buah kelapa yang mengandung senyawa-senyawa biologi yang aktif. Menurut Winarto *et. al.*, (2015), air kelapa mengandung komposisi kimia yang unik terdiri atas mineral, vitamin, gula, asam amino dan fitohormon yang memiliki pengaruh signifikan terhadap pertumbuhan tanaman. Agampodi dan Jawawardena (2009) mengatakan bahwa air kelapa mengandung zat pengatur tumbuh (ZPT) yang dapat digunakan untuk kultur jaringan sehingga meningkatkan inisiasi kalur dan perkembangan akar. Berdasarkan analisis hormon yang dilakukan oleh Savitri (2005) ternyata dalam air kelapa muda terkandung hormon giberelin (0,460 ppm GA3, 0,255 ppm GA5), sitokinin (0,441 ppm kinetin, 0,247 ppm zeatin), dan auksin (0,237 ppm IAA).

Kristina dan Syahid (2012) mengatakan air kelapa mengandung vitamin dan mineral. Air kelapa memiliki kandungan kalium cukup tinggi mencapai 17% yaitu sebanyak 14,11 mg/100 ml, kalsium sebanyak 24,67% mg/100 ml, dan nitrogen sebanyak 43 mg/100 ml.

Menurut Lawalata (2011), air kelapa mengandung hormon auksin dan sitokinin. Kedua hormon berguna untuk mendukung pembelahan sel sehingga membantu pembentukan tunas dan pemanjangan batang. Pamungkas *et. al.*, (2009) menambahkan auksin akan membantu sel untuk membelah secara cepat dan berkembang menjadi tunas dan batang. Selain mengandung auksin dan sitokinin, air kelapa juga mengandung nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman. Hendaryono *et. al.*, (2008) mengatakan bahwa sitokinin juga terbukti memacu diferensiasi dari jaringan tunas. Sitokinin dalam air kelapa muda juga dapat memacu terjadinya organogenesis yang dapat mempercepat pertumbuhan daun (Abidin, 2010).

2.5.2 Air Cucian Beras

Tanaman tumbuh subur, sehat dan berwarna hijau segar apabila tetap dijaga dan dirawat. Salah satu perawatannya adalah dengan memberikan nutrisi atau unsur hara dapat diperoleh melalui air cucian beras. Berdasarkan hasil laboratorium tanah dan analisis bahan pangan Universitas Gajah Mada (UGM), kandungan nutrisi yang ada pada air cucian beras putih yakni nitrogen sebesar 0,015%, fosfor sebesar 16,306%, kalium sebesar 2,944%, magnesium sebesar 14,252%, sulfur sebesar 0,027%, besi sebesar 0,0427% dan vitamin B1 sebesar 0,043% (Suryati, 2021).

Selain unsur hara yang terkandung di dalamnya, air cucian beras juga bermanfaat sebagai media tumbuh atau tanah. Kegunaannya sebagai media tumbuh memiliki beberapa manfaat seperti memperbaiki sifat fisika, kimia dan biologi media tumbuh tersebut; membuat struktur media tumbuh lebih gembur karena adanya bahan-bahan organik yang terkandung didalamnya dan membantu mengurai unsur hara dalam tanaman karena adanya mikroorganisme dekomposer tadi.

Pada air cucian beras juga terkandung beberapa bakteri antagonis yang berguna untuk mengendalikan bakteri patogen. Bakteri antagonis berguna dalam mencegah adanya hama jenis kutu-kutuan dengan cara memecahkan sel telurnya sebelum menjadi imago. Beberapa bakteri antagonis tersebut yaitu bakteri *Pseudomonas fluorescens*, bakteri pektolisis pektin dan *Xanthomonas maltophilia*.

2.5.3 Gula Putih

Gula putih dapat memberikan manfaat terhadap tanaman. Gula dapat memelihara bunga sehingga dapat bertahan lama. Menurut Pratiwi (2022) beberapa manfaat gula putih terhadap tanaman antara lain: (1) Menyuburkan tanaman, gula dapat digunakan untuk menyuburkan tanah dengan cara membuat mikroba multi fungsi; (2) Memaksimumkan tanaman organik, bertanam organik bisa tidak menggunakan pupuk buatan melainkan memanfaatkan organisme dalam tanah seperti mikroba, bakteri, jamur dan sebagainya. Gula dapat digunakan untuk campuran membuat pupuk kompos, sehingga dapat menyuburkan tanah; (3) Membunuh hama, yaitu dengan membuat larutan gula dan menyemprotkan pada tanaman atau juga dengan menanam gula ke dalam tanah.

2.6 Formulasi Metabolit Sekunder *Pseudomonas fluorescens*

2.6.1 Keong Mas

Menurut Asroh dan Novriani (2019), manfaat pupuk organik yang berbahan dasar keong secara ilmiah dapat membantu menyuburkan tanah karena memiliki kandungan kitin. Selain itu, keong mas mampu dijadikan sumber mikroba yang baik bagi tanaman karena telah melewati masa fermentasi.

2.6.2 Terasi

Natalia (2022) mengatakan terasi dapat menambahkan keanekaragaman mikroorganisme yang ada didalam pupuk organik cair. Terasi merupakan larutan hasil fermentasi dari berbagai sumber alami yang mengandung unsur hara makro (Nitrogen, Phospat, dan Kalium), unsur hara mikro (Kalsium, Magnesium, Besi, Mangan, Seng), Zat Pengatur Tumbuh (Auksin, Giberellin, dan Sitokinin), bakteri perombak bahan organik, perangsang pertumbuhan dan agen pengendali hama/penyakit tanaman. Komponen utama dalam terasi terdiri atas mikroorganisme, karbohidrat, dan glukosa. Mol terasi bermanfaat sebagai penyubur tanah serta memperbaiki struktur tanah karena mengandung banyak mikroba baik yang berperan untuk pengomposan tanah.