

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Hama Tanaman Jeruk

Tanaman jeruk sering kali menghadapi serangan berbagai jenis hama yang dapat mengganggu pertumbuhannya serta menurunkan hasil dan kualitas buah. Di antara hama yang sering menyerang jeruk adalah kutu daun (*Aphis gossypii*), kutu sisik (*Lepidosaphes beckii*), kutu putih (*Planococcus citri*), dan lalat buah (*Bactrocera dorsalis*). Gejala serangan hama ini bervariasi tergantung pada jenisnya. Kutu daun dan kutu putih mengisap cairan pada daun dan batang, yang menyebabkan daun menguning, kerdil, layu, serta pertumbuhan tanaman menjadi terhambat. Serangan yang parah dapat menyebabkan gugurnya daun dan tunas muda, sehingga mengurangi kemampuan fotosintesis tanaman. Kutu sisik menyerang dengan cara menempel pada batang dan ranting serta mengeluarkan madu yang menjadi tempat tumbuhnya jelaga. Akibatnya, daun dan buah tertutup lapisan hitam yang dapat menghambat fotosintesis serta menurunkan kualitas dan nilai jual buah jeruk. Sementara itu, lalat buah merusak buah jeruk dengan menyuntikkan telur ke dalam daging buah. Setelah menetas, larva akan menggerogoti bagian dalam buah, menyebabkan pembusukan, perubahan warna pada kulit buah, serta buah menjadi lunak dan berlubang. Buah yang terserang sering kali rontok sebelum matang, sehingga mengurangi hasil panen secara signifikan. Semua hama ini dapat menyebabkan kerugian besar dalam produksi jeruk jika tidak dikendalikan dengan baik (Anggarawati et al., 2017).

### 2.2. Jamur Entomopatogen

Jamur entomopatogen merupakan agen biopestisida alami yang memiliki potensi besar dalam pengendalian hama secara ramah lingkungan. Keunggulan utama dari jamur ini adalah kemampuannya untuk menginfeksi dan membunuh serangga tanpa merusak ekosistem atau membahayakan kesehatan manusia dan hewan (Sudarjat, 2023; Siahaan et al., 2021). Proses infeksi terjadi melalui kontak langsung, dimana konidia atau miselium jamur menempel pada tubuh inang, berkembang biak, dan akhirnya membunuh serangga tersebut (Choudhary, 2024). Selain itu, jamur entomopatogen juga dapat mengatasi masalah resistensi yang sering terjadi akibat penggunaan pestisida kimia (Septiana et al., 2019). Dalam konteks pertanian,

penggunaan jamur entomopatogen sangat penting untuk pengendalian hama pada berbagai jenis tanaman, termasuk jeruk, dan uji viabilitas jamur ini diperlukan untuk mengetahui efektivitasnya di lapangan (Sutarman, 2023).

Langkah pengendalian hama yang lebih ramah lingkungan salah satunya yaitu penggunaan jamur entomopatogen yang menjadi alternatif semakin diperhitungkan. Jamur seperti *Beauveria bassiana* dan *Metarhizium anisopliae* memiliki potensi besar dalam mengendalikan populasi hama tanpa membahayakan organisme non-target, seperti serangga penyerbuk dan predator alami. Penelitian menunjukkan bahwa spora jamur ini dapat menempel pada tubuh serangga hama dan menginfeksi mereka dengan cara menembus kulit tubuh, berkembang biak di dalam tubuh serangga, serta merusak organ-organ internal mereka. Hama yang terinfeksi akhirnya mati dalam beberapa hari setelah terinfeksi, yang membantu mengurangi kerusakan pada tanaman jeruk. Penggunaan jamur entomopatogen juga lebih berkelanjutan karena jamur ini dapat berkembang biak secara alami di lingkungan dan tidak meninggalkan residu kimia berbahaya, yang sering kali menjadi masalah pada penggunaan pestisida kimia.

Pengendalian hama menggunakan jamur entomopatogen tidak hanya membantu mengatasi masalah hama yang sering menyerang tanaman jeruk, tetapi juga menawarkan solusi jangka panjang yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Selain itu, pengendalian hayati ini dapat meningkatkan ketahanan ekosistem pertanian dan mengurangi ketergantungan petani terhadap pestisida kimia yang dapat menyebabkan resistensi pada hama dan menurunkan keanekaragaman hayati. Dengan teknologi formulasi dan aplikasi yang semakin berkembang, seperti penggunaan spora yang lebih tahan terhadap suhu dan kelembapan yang ekstrem, diharapkan penggunaan jamur entomopatogen akan semakin efektif dalam manajemen hama pada tanaman jeruk. Berikut adalah jamur entomopatogen yang digunakan untuk pengendalian hama pada tanaman jeruk :

*a. Hirsutella citriformis*

*H. citriformis* adalah salah satu jamur entomopatogen yang dikenal efektif dalam mengendalikan hama seperti kutu daun pada tanaman jeruk. Jamur ini memiliki morfologi yang khas dan dapat bertahan dalam berbagai kondisi lingkungan, meskipun keberhasilannya dalam mengendalikan hama sangat

tergantung pada suhu, kelembaban, dan media pertumbuhannya (Jarlina et al., 2015; Ryzaldi, 2022). Penelitian menunjukkan bahwa *H. citriformis* dapat bertahan dalam kondisi yang tidak ideal, dan uji viabilitasnya penting untuk memastikan efektivitasnya di lapangan (Hasyim et al., 2016)., *H. citriformis* merupakan kandidat yang menjanjikan untuk digunakan dalam pengendalian hama tanaman jeruk (Juliartawan et al., 2022). Jamur *H. citriformis* menginfeksi serangga dengan menghasilkan konidia yang menempel pada kutikula inangnya. Setelah menembus tubuh serangga, jamur ini berkembang di dalam hemolimfa, menyebabkan gangguan fisiologis dan akhirnya kematian inang ( Gambar 2.1)



Gambar 2. 1. Infeksi jamur *Hirsutella citriformis* pada serangga (Hall et al, 2012)

#### b. *Beauveria bassiana*

*B. bassiana* adalah salah satu jamur entomopatogen yang paling dikenal dan banyak digunakan dalam pengendalian hama. Jamur ini dapat menginfeksi berbagai jenis serangga, termasuk hama yang menyerang tanaman jeruk seperti trips dan kutu (Pertiwi et al., 2016). *B. bassiana* memproduksi enzim proteolitik yang memungkinkan jamur ini menembus eksoskeleton serangga dan berkembang di dalam tubuh inang (Hasibuan et al., 2014). Penelitian menunjukkan bahwa jamur ini dapat bertahan dalam berbagai kondisi, meskipun suhu dan kelembaban sangat mempengaruhi viabilitasnya (Mulyani et al., 2022). Uji viabilitas *B. bassiana* penting untuk menentukan efektivitasnya setelah diaplikasikan pada tanaman jeruk, serta untuk memahami bagaimana kondisi lingkungan mempengaruhi kelangsungan hidup spora (Haas-Costa et al., 2010). *B. bassiana* bekerja dengan menempelkan spora pada tubuh serangga, kemudian menembus kutikula menggunakan enzim protease, lipase, dan kitinase. Setelah masuk, jamur berkembang biak di dalam tubuh serangga dan menghasilkan toksin yang mempercepat kematian inang (Gambar 2.2).



Gambar 2. 2. Infeksi Jamur *Beauveria bassiana* pada serangga (Mascarin, 2016)

#### c. *Metarhizium anisopliae*

*M. anisopliae* dikenal karena kemampuannya dalam menginfeksi berbagai serangga tanah dan serangga yang menyerang tanaman. Jamur ini memproduksi konidia yang sangat menular bagi serangga dan dapat bertahan hidup dalam kondisi kering, sehingga memiliki potensi besar untuk diaplikasikan di daerah yang sering kekurangan air (Rahayu et al., 2021; Indrayani & Prabowo, 2016). Uji viabilitas *M. anisopliae* penting untuk mengevaluasi kemampuannya bertahan dalam kondisi lingkungan yang ekstrem, serta untuk memastikan bahwa jamur tetap aktif dan efektif setelah aplikasi lapangan (Rizkie et al., 2017). Penelitian menunjukkan bahwa *M. anisopliae* efektif dalam mengendalikan hama seperti kutu kebul dan belalang, yang sering menyerang tanaman jeruk (Li et al., 2011). *M. anisopliae* memiliki mekanisme serupa, tetapi lebih agresif dalam menembus kutikula serangga dengan membentuk struktur khusus yang disebut appressorium. Setelah infeksi, jamur ini menyebar ke seluruh jaringan tubuh serangga, menyebabkan kematian dalam beberapa hari (Gambar 2.3)



Gambar 2. 3. Infeksi Jamur *Metarhizium anisopliae* pada serangga ( Peng et al, 2022)

#### d. *Paecilomyces*

Genus *Paecilomyces* terdiri dari berbagai spesies jamur entomopatogen yang efektif dalam pengendalian hama. Beberapa spesies, seperti *Paecilomyces fumosoroseus*, telah terbukti efektif dalam mengendalikan kutu kebul dan trips pada

tanaman jeruk (Bukhari et al., 2010; Prayogo, 2017). Uji viabilitas pada *Paecilomyces* bertujuan untuk mengevaluasi ketahanannya terhadap berbagai kondisi lingkungan, termasuk suhu dan kelembaban (Indriyati et al., 2019). Penelitian menunjukkan bahwa *Paecilomyces* lebih tahan terhadap suhu tinggi dibandingkan dengan jamur entomopatogen lainnya, sehingga menjadikannya pilihan yang baik untuk pengendalian hayati (Khosravi et al., 2015). *Paecilomyces* (terutama *Paecilomyces fumosoroseus*) juga menginfeksi melalui kontak dengan spora, yang kemudian menembus kutikula dan berkembang dalam tubuh serangga, menyebabkan kematian melalui dehidrasi dan konsumsi nutrisi inang (Gambar 2.4)



Gambar 2. 4. Infeksi Jamur *Paecilomyces* pada serangga (Moreno et al,2020)

### 2.3. Efektivitas jamur entomopatogen dalam pengendalian hayati

Efektivitas jamur entomopatogen dalam pengendalian hayati dipengaruhi oleh faktor lingkungan, seperti suhu, kelembaban, dan keberadaan hama target. Untuk meningkatkan daya guna jamur ini, teknologi bioformulasi telah dikembangkan, seperti penambahan bahan pembawa yang menjaga viabilitas spora dalam kondisi ekstrem. Selain itu, penelitian untuk menghasilkan strain jamur unggul yang lebih adaptif terhadap berbagai kondisi lingkungan terus dilakukan. Dengan dukungan inovasi teknologi pertanian dan kesadaran akan pentingnya pengendalian hama yang ramah lingkungan, penggunaan jamur entomopatogen diharapkan semakin meluas dan menjadi elemen kunci dalam sistem manajemen hama terpadu (Arsi et al,2020).

Mekanisme infeksi jamur entomopatogen seperti *H. citrifomis*, *B. bassiana*, *M. anisopliae*, dan *Paecilomyces* dimulai dengan adhesi spora pada permukaan kutikula serangga. Proses adhesi ini melibatkan interaksi kimia antara dinding sel spora yang kaya akan protein adhesif dan lipid serta protein pada kutikula inang (Fernandes et al., 2010). Setelah melekat, spora akan berkecambah

dan membentuk tabung germinasi yang menembus kutikula dengan bantuan enzim seperti kitinase, protease, dan lipase (Bai et al., 2014). Penetrasi ini memungkinkan jamur untuk mencapai hemolimfa, di mana mereka memanfaatkan nutrisi dari tubuh serangga untuk berkembang biak. Selama proses ini, jamur juga melepaskan toksin yang menyebabkan gangguan sistemik pada inang, seperti paralisis dan disfungsi organ, yang pada akhirnya mengakibatkan kematian serangga (Hasyim et al., 2016).

Kematian inang, jamur akan membentuk miselium di permukaan tubuh serangga yang berfungsi sebagai tempat produksi spora baru. Pembentukan miselium eksternal ini juga berkontribusi pada penyebaran spora ke lingkungan sekitar, meningkatkan peluang infeksi terhadap serangga lain (Ryzaldi, 2022). Efektivitas infeksi sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan, seperti kelembapan tinggi yang mempercepat germinasi spora dan suhu optimal antara 25–30 °C (Wibowo et al., 2022). Dalam kondisi lingkungan yang tidak mendukung, seperti kelembapan rendah atau suhu ekstrem, infeksi sering kali gagal terjadi (Kurnianto, 2023). Oleh karena itu, pemahaman tentang interaksi antara jamur, serangga, dan lingkungan sangat penting untuk memaksimalkan keberhasilan penggunaan jamur entomopatogen dalam pengendalian hayati (Indrayani & Prabowo, 2016).

Jamur entomopatogen menunjukkan spesifisitas yang tinggi terhadap jenis serangga tertentu. Misalnya, *H. citriformis* lebih efektif terhadap kutu daun dan serangga penghisap cairan, sementara *M. anisopliae* banyak digunakan untuk mengendalikan serangga tanah seperti jangkrik atau larva kumbang (Nisfuriah & Nunilahwati, 2020). Selain itu, produksi metabolit sekunder seperti destruxin oleh *M. anisopliae* atau *beauvericin* oleh *B. bassiana* memberikan efek tambahan berupa kerusakan jaringan internal serangga. Toksin-toksin ini mempercepat kematian serangga meskipun infeksi miselium belum sepenuhnya menyebar, menjadikan jamur entomopatogen sebagai agen pengendali hayati yang efektif untuk mengurangi populasi hama secara alami (Bai et al., 2014).

#### **2.4. Media Perbanyak Jamur Entomopatogen**

Media *Potato Dextrose Agar* (PDA) instan adalah media sintetis yang umum digunakan dalam penelitian dan perbanyak awal jamur entomopatogen. PDA instan terbuat dari campuran bahan kering yang memudahkan penyusunan.

Kandungan pati pada PDA instan berfungsi sebagai sumber karbon utama, sedangkan dextrose menjadi sumber energi tambahan. Keunggulan utama dari PDA instan adalah kemudahannya dalam persiapan, karena cukup mencampurkan serbuk media dengan air dan kemudian mensterilkan media tersebut. Setelah disiapkan dan disterilkan, PDA instan mendukung pertumbuhan koloni jamur seperti *B. bassiana* dan *M. anisopliae*, yang menghasilkan miselium dan spora dalam waktu 5-7 hari (Pertiwi & Haryadi, 2022).

PDA instan juga memungkinkan pengamatan visual terhadap viabilitas spora, yaitu kemampuan spora untuk berkecambah setelah inkubasi. Namun, kelemahan PDA instan adalah biaya produksi media yang relatif tinggi, terutama jika digunakan dalam jumlah besar untuk skala industri. Oleh karena itu, dalam produksi massal, sering kali digunakan media alternatif berbasis bahan lokal, seperti dedak padi, tepung jagung, atau limbah agroindustri lainnya. Meskipun demikian, PDA instan tetap penting sebagai media awal untuk memastikan bahwa strain jamur yang digunakan memiliki viabilitas tinggi sebelum diaplikasikan ke media produksi massal. PDA instan juga penting dalam memastikan tidak adanya kontaminasi dari mikroorganisme lain selama proses perbanyakan. Kontaminasi sering kali menjadi masalah utama, terutama jika proses sterilisasi media tidak dilakukan dengan baik. Oleh karena itu, media PDA instan biasanya diperkaya dengan antibiotik untuk mencegah pertumbuhan bakteri selama proses kultur. Dengan pengendalian kontaminasi yang baik, media PDA instan mampu menghasilkan spora dengan viabilitas dan daya infeksi yang optimal (Westphal et al, 2021).

## **2.5. Teknik Perbanyakan Jamur Entomopatogen**

Perbanyakan jamur entomopatogen dimulai dari tahap laboratorium dengan menggunakan media padat seperti PDA instan. Metode ini, spora jamur ditanam pada media PDA steril di dalam cawan petri atau botol kultur, kemudian diinkubasi pada suhu optimal (25–28 °C) selama 7–14 hari. Setelah pertumbuhan miselium mencapai puncaknya, spora yang dihasilkan dapat dikumpulkan dan disimpan untuk digunakan sebagai inokulum pada tahap berikutnya. Teknik ini sederhana dan efektif untuk perbanyakan awal, namun terbatas dalam kapasitas produksi. Selain itu, diperlukan lingkungan yang steril untuk mencegah kontaminasi, terutama pada

tahap awal pertumbuhan jamur. Setelah tahap laboratorium, spora dapat digunakan untuk fermentasi cair, yaitu teknik produksi massal dalam media cair seperti Potato Dextrose Broth (PDB) atau media alternatif. Fermentasi cair dilakukan dalam bioreaktor dengan pengendalian suhu, pH, dan aerasi yang ketat untuk memaksimalkan produksi spora. Pada fermentasi cair, *Beauveria bassiana* dan *Metarhizium anisopliae* menunjukkan pertumbuhan yang sangat cepat dengan hasil spora yang melimpah. Teknik ini lebih efisien dibandingkan metode padat karena menghasilkan jumlah spora yang jauh lebih besar dalam waktu yang lebih singkat. Namun, biaya awal untuk pengadaan bioreaktor dan pengendalian parameter lingkungan cukup tinggi, sehingga biasanya hanya digunakan dalam skala industri (Nuryanti & Aziz, 2012).

## **2.6. Parameter Kualitas Jamur Entomopatogen**

Kualitas jamur entomopatogen sangat bergantung pada viabilitas spora, yang diukur dengan menghitung persentase spora yang berkecambah setelah inkubasi. Viabilitas ini penting untuk memastikan bahwa spora yang digunakan dalam aplikasi lapangan masih mampu menghasilkan miselium dan menginfeksi serangga target. Uji viabilitas dilakukan dengan cara menanam spora pada media PDA dan mengamati kecambahannya dalam waktu 24-48 jam. Pada kondisi ideal, spora yang berkecambah dengan cepat menunjukkan kualitas yang baik, sedangkan spora yang lambat atau gagal berkecambah menandakan viabilitas yang rendah. Oleh karena itu, pengujian viabilitas spora menjadi langkah awal dalam menentukan apakah suatu kultur jamur layak digunakan untuk pengendalian hama. Daya infeksi spora juga merupakan parameter penting yang mempengaruhi keberhasilan aplikasi jamur entomopatogen. Daya infeksi dapat diuji dengan mengamati tingkat mortalitas serangga setelah paparan spora. Biasanya, spora yang memiliki daya infeksi tinggi dapat membunuh serangga target dalam waktu singkat, bahkan dalam kondisi lingkungan yang kurang mendukung. Tingkat kematian yang tercatat selama percobaan ini memberi gambaran tentang seberapa efisien jamur dalam mengendalikan serangga hama secara alami (Effendy et al, 2010).

Stabilitas spora adalah parameter lain yang harus diperhatikan, terutama dalam penyimpanan. Spora jamur entomopatogen cenderung kehilangan viabilitas jika disimpan pada suhu atau kelembapan yang tidak sesuai. Untuk meningkatkan

stabilitas, spora biasanya disimpan dalam kondisi dingin dan pada kelembapan rendah, atau dikeringkan menggunakan teknik seperti pengeringan beku. Beberapa jenis jamur seperti *M. anisopliae* dan *B. bassiana* lebih tahan terhadap kondisi penyimpanan daripada jenis lainnya, seperti *Paecilomyces*. Penyimpanan yang tepat memastikan bahwa spora tetap dapat digunakan dalam aplikasi lapangan meskipun telah disimpan untuk waktu yang lama (Pertwi et al,2016).

### **2.7.Faktor Lingkungan dalam Perbanyakan Jamur Entomopatogen**

Faktor lingkungan memainkan peran penting dalam keberhasilan perbanyakan jamur entomopatogen. Suhu adalah faktor utama yang mempengaruhi laju pertumbuhan dan pembentukan spora. Pada umumnya, suhu optimal untuk perbanyakan jamur entomopatogen berada pada rentang 25–28 °C, tergantung pada spesies jamur. Suhu yang lebih rendah atau lebih tinggi dari kisaran ini dapat memperlambat pertumbuhan atau bahkan menghentikan pembentukan spora. Oleh karena itu, pemantauan suhu selama perbanyakan di laboratorium atau skala industri sangat diperlukan untuk memastikan hasil yang optimal (Arsi et al,2020).

Kelembapan juga merupakan faktor yang sangat memengaruhi keberhasilan perbanyakan. Jamur entomopatogen, seperti *B. bassiana*, membutuhkan kelembapan relatif yang tinggi untuk memastikan spora dapat berkecambah dengan baik. Kelembapan rendah dapat menghambat proses germinasi spora dan memperburuk viabilitas spora itu sendiri. Untuk menjaga kelembapan yang diperlukan, seringkali digunakan inkubator atau ruangan dengan kontrol kelembapan yang ketat. Menjaga kelembapan yang konsisten juga sangat penting dalam menghindari pengeringan spora yang dapat mengurangi efektivitasnya sebagai agen pengendalian hayati. Faktor lain yang harus diperhatikan adalah aerasi atau ketersediaan oksigen. Pada fermentasi cair, oksigen berperan besar dalam metabolisme miselium, yang pada gilirannya mendukung produksi spora dalam jumlah besar. Kurangnya oksigen dapat menyebabkan pertumbuhan miselium yang terhambat atau bahkan kegagalan dalam pembentukan spora. Oleh karena itu, sistem fermentasi harus dilengkapi dengan aerasi yang cukup untuk mendukung pertumbuhan jamur yang optimal. Pada media padat seperti PDA instan, aerasi juga penting untuk mencegah pertumbuhan jamur yang tidak merata, yang dapat menjadi masalah pada hasil perbanyakan spora (Apriliyanto & Suhastyo,2019).