

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA, KERANGKA BERPIKIR, DAN HIPOTESIS

2.1. Tinjauan pustaka

2.1.1. Botani dan fisiologi cabai merah

a. Botani cabai merah

Cabai merah (*Capsicum annuum* L.) adalah tanaman semusim yang tumbuh tegak dan berbentuk perdu. Bentuk daun cabai pun beragam, mulai dari bulat telur, lonjong, oval, hingga lanset. Warna permukaan atas daun bervariasi dari hijau muda, hijau tua, hingga hijau kebiruan, sedangkan bagian bawahnya biasanya hijau, hijau muda, atau hijau pucat. Tekstur permukaan daun ada yang halus dan ada juga yang berkerut. Panjang daun cabai berkisar antara 3 hingga 11 cm, sedangkan lebarnya antara 1 hingga 5 cm (Agustina, Widodo dan Hidayah, 2014).

Batang cabai berwarna hijau muda hingga hijau tua. Sistem perakarannya berupa akar tunggang, terdiri dari akar utama serta akar samping yang menyerupai serabut. Bunganya memiliki bentuk seperti bintang dan tumbuh di ketiak daun, baik secara tunggal maupun dalam kelompok kecil. Biasanya, satu tandan bunga terdiri atas 2 sampai 3 bunga. Warna mahkota bunganya bervariasi, ada yang putih, putih kehijauan, hingga ungu. Ukuran bunga berkisar antara 5 mm hingga 20 mm, dan termasuk bunga sempurna karena memiliki bagian jantan dan betina dalam satu tanaman. Buah cabai adalah bagian yang paling dikenal dan juga sangat bervariasi, baik dari segi bentuk maupun ukuran, salah satunya berbentuk menyerupai lonceng atau bell (Agustina dkk., 2014).

b. Klasifikasi botani cabai merah

Di Indonesia, cabai merah termasuk ke dalam kategori sayuran berdasarkan kebiasaan dan kesepakatan umum, meskipun secara botani cabai tergolong buah. Jenis cabai merah yang umum dibudidayakan meliputi cabai merah besar dan cabai merah keriting yang memiliki peran penting sebagai komoditas utama dalam industri pangan (Riadi, 2021).

Secara botani, cabai merah termasuk dalam famili Solanaceae, yang mencakup sekitar 25 spesies liar dan lima spesies yang telah dibudidayakan, yakni *C. annuum*, *C. chinense*, *C. frutescens*, *C. pubescens*, dan *C. baccatum*. Data yang dipublikasikan oleh Global Biodiversity Information Facility (2024). menampilkan taksonomi cabai merah sebagai berikut :

Kerajaan	: Plantae
Sub kerajaan	: Pteridobiotina
Filum	: Tracheophyta
Kelas	: Magnoliopsida
Ordo	: Solanales
Keluarga	: Solanaceae
Sub keluarga	: Solanoideae
Genus	: <i>Capsicum</i> L.
Spesies	: <i>Capsicum annuum</i> L.

c. Buah cabai merah

Tanaman cabai menghasilkan buah berbentuk polong dengan rongga antara plasenta dan dinding buah. Buah yang masih muda berwarna hijau tua, sedangkan buah yang matang berwarna merah cerah, dengan permukaan yang mengkilap dan licin. Warna buah ini bergantung pada varietasnya. Panjang buah cabai juga bergantung pada varietasnya berkisar antara panjang 16,53 sampai 16,56 cm, diameter 1,70 sampai 1,72 cm dan berat 19,3 sampai 19,3 g per buah (Kementerian Pertanian, 2023).

Buah cabai merah yang telah masak memiliki ciri khas warna merah mengkilat, dengan panjang sekitar 16 cm, diameter sekitar 1,72 cm, dan bobot sekitar 19 gram per buah. Buah cabai merah merupakan buah sejati tunggal yang muncul dari ketiak daun atau percabangan dan tumbuh menggantung dengan permukaan yang halus serta licin. Kandungan capsaicin yang terdapat dalam cabai memberikan rasa pedas yang khas, yang merupakan daya tarik utama bagi konsumen rumah tangga maupun industri (Riadi, 2021).

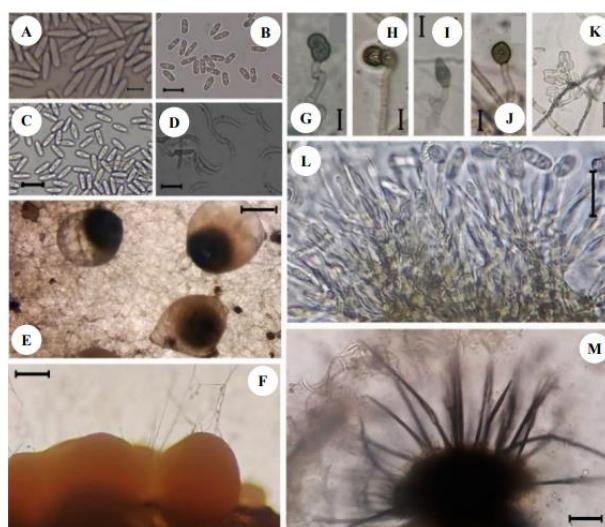


Gambar 1 Buah cabai merah var tanjung
Sumber : (Dokumentasi pribadi, 2025)

2.1.2. Biologi dan kerusakan antraknosa (*Colletotrichum* sp.)

a. Biologi *Colletotrichum* sp.

Colletotrichum sp. adalah jamur patogen tanaman yang terkenal dengan mekanisme infeksinya yang kompleks. Infeksi dimulai dengan pembentukan struktur khusus seperti appresoria, yang digunakan untuk menembus kutikula tanaman (Samarakoon dkk., 2018). Jamur ini dapat memproduksi enzim pendegradasi dinding sel dan metabolit sekunder yang memfasilitasi invasi dan kolonisasi jaringan tanaman. Biologi molekuler menunjukkan bahwa pola kehidupan dan kemampuan patogen ini sangat bergantung pada ekspresi gen tertentu, termasuk gen yang terlibat dalam produksi enzim degradasi dan penghambatan respon imun tanaman. Studi genomik juga menunjukkan diversifikasi fungsi untuk adaptasi terhadap berbagai inang (Bragard dkk., 2021).



Gambar 2 Karakteristik mikroskopis *Colletotrichum* sp.
Sumber : (Hodiyah dkk., 2024)

Adapun gambar di atas menunjukkan bahwa, A. konidia silinder panjang; B. konidia silinder; C. konidia fusiform; d. falcate konidia; EF. konidiomata; GJ appressoria; KL. sel konidiogen; M. acervulus. Dapat disimpulkan bahwa patogen Antraknosa (*Colletotrichum* sp.) memiliki beragam bentuk konidia seperti silinder panjang, silinder, fusiform, dan falcate. Selain itu, ditemukan juga berbagai struktur konidiomata, appressoria, sel konidiogen, dan acervulus yang menunjukkan kompleksitas siklus hidup dan mekanisme reproduksi patogen tersebut.

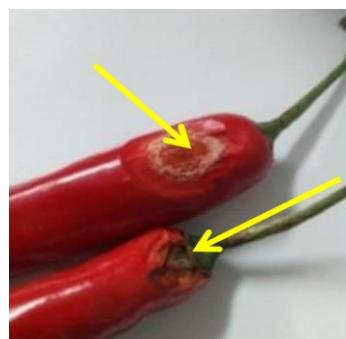
Siklus hidup *Colletotrichum* sp. melibatkan dua morfologi utama, yaitu *morf* aseksual yang lebih umum dan *morf* seksual yang jarang ditemukan. Siklus dimulai ketika konidia mendarat di permukaan tanaman inang, berkecambah, dan membentuk appresoria untuk menembus kutikula atau dinding sel tanaman. Setelah masuk, jamur memasuki fase biotrofik, dimana jamur tumbuh di dalam sel tanaman tanpa membunuhnya, menggunakan nutrisi inang dan menghindari respons pertahanan tanaman. Selanjutnya, beralih ke fase nekrotrofik, dimana jamur merusak jaringan tanaman dengan melepaskan enzim pendegradasi dinding sel dan toksin, menyebabkan kematian sel dan munculnya gejala seperti nekrosis. Pada tahap akhir, *Colletotrichum* sp. membentuk struktur reproduksi aseksual berupa acervuli yang menghasilkan konidia baru, yang disebarluaskan melalui air, angin, atau interaksi mekanis untuk memulai siklus infeksi baru (Jayawardena dkk., 2021).

Dalam beberapa kasus, terutama pada buah pascapanen, jamur dapat memasuki fase dorman, tetapi hidup dalam jaringan tanaman tanpa gejala hingga kondisi mendukung aktivasi kembali. Selain itu, reproduksi seksual yang jarang terjadi melalui pembentukan perithecia dan askospora berfungsi meningkatkan variasi genetik dan membantu jamur bertahan dalam kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan. Siklus ini menjelaskan kemampuan *Colletotrichum* sp untuk bertahan dan menyebar luas, menyebabkan kerugian besar pada tanaman budidaya (Wiyono dan Manuwoto, 2008).

b. Kerusakan oleh Antraknosa

Infeksi *Colletotrichum* sp. dimulai dengan fase biotrofik, di mana jamur tumbuh dalam jaringan hidup tanpa menyebabkan kerusakan yang jelas. Fase ini diikuti oleh fase nekrotrofik, di mana jamur mengeluarkan enzim pendegradasi

dinding sel dan toksin untuk membunuh jaringan sel inang. Gejala yang ditimbulkan meliputi bercak coklat atau hitam pada daun, batang, dan buah, yang berkembang menjadi nekrosis. Pada buah, terutama pascapanen, infeksi dapat menyebabkan bercak basah yang meluas dan pembusukan total (Jayawardena dkk., 2021). Beberapa penelitian (Maglothin dan Albersheim, 1972; Stahl dan Schafer', 1992) menyebutkan bahwa patogen *Colletotrichum* sp. memiliki enzim pendegradasi seperti enzim cutinase yang merusak lapisan cutin dan *polygalacturonase* (PG) yang merusak pektin sehingga patogen dapat melakukan penetrasi kedalam jaringan tanaman.



Gambar 3 Gejala tampak patogen setelah masa inkubasi
Sumber : (Ramdan dkk., 2019)

Colletotrichum sp. merupakan penyebab utama pada penyakit antraknosa untuk tanaman pepaya dan cabai. Selain menurunkan hasil panen, infeksi sering kali terjadi pada fase pascapanen karena adanya fase laten. Patogen tetap dorman dalam jaringan tanaman hingga kondisi yang sesuai, seperti saat buah mulai matang. Hal ini membuat pengendalian penyakit menjadi lebih sulit, terutama pada komoditas yang diekspor, karena potensi pembusukan selama transportasi (Wiyono dan Manuwoto, 2008).

2.1.3. Asap cair

a. Definisi

Asap cair merupakan hasil kondensasi atau pendinginan asap yang dihasilkan dari proses pirolisis bahan organik, terutama kayu atau bahan berbasis lignoselulosa, dalam kondisi terbatas oksigen. Cairan yang dihasilkan ini mengandung berbagai senyawa kimia, seperti fenol, karbonil, dan asam organik, yang memiliki sifat antimikroba, antioksidan, dan pengawet. Asap cair sering

digunakan dalam pengawetan pangan karena kemampuannya untuk menghambat pertumbuhan mikroorganisme dan memperpanjang umur simpan produk pangan (Wardoyo dkk., 2020).

b. Proses produksi asap cair

Proses produksi asap cair melibatkan proses pirolisis pada suhu 50 hingga 350 °C. Pada suhu tersebut, bahan baku akan terdekomposisi menjadi senyawa volatil yang kemudian dikondensasikan menjadi asap cair. Faktor-faktor seperti jenis bahan baku, suhu, dan metode pirolisis sangat memengaruhi komposisi kimia asap cair yang dihasilkan (Handayani dan Sa'diyah, 2022). Misalnya, kayu keras dan lunak menghasilkan asap cair dengan komposisi berbeda, di mana kayu keras umumnya memiliki kandungan fenol yang lebih tinggi dibandingkan dengan kayu lunak. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Mohan dkk (2006) menunjukkan persentase Lignocellulose dalam tiap bahan asap cair yaitu *orchid grass*, *rice straw* dan *birchwood* di mana kandungan selulosa dan lignin yang terdapat dalam *birchwood* (40% dan 15,7%) lebih tinggi dibandingkan *orchid grass* (32% dan 4,7%) dan *rice straw* (34% dan 14,2%).

Asap cair yang diproses dari tongkol jagung menghasilkan rendemen asap cair sekitar 63% dengan kadar air bahan sekitar 14%, sedangkan bahan yang memiliki kadar air lebih besar dari 17% akan menghasilkan rendemen asap cair lebih rendah kurang dari 31% (Rahmat dan Benatar, 2024).

c. Kandungan kimia dan sifat asap cair

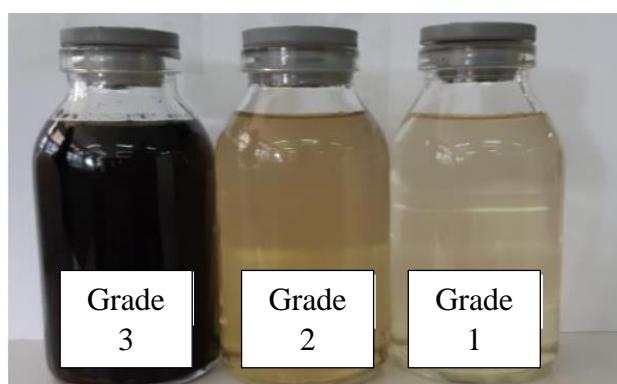
Asap cair mengandung senyawa-senyawa kimia utama seperti asam asetat, fenol, guaiakol, dan karbonil yang memiliki aktivitas antimikroba dan antioksidan. Fenol dan guaiakol dalam asap cair bertanggung jawab atas efek pengawetan, karena senyawa ini dapat menghambat pertumbuhan bakteri dan jamur. Selain itu, asam-asam organik seperti asam asetat juga memberikan efek pengawet melalui penurunan pH, yang menghambat pertumbuhan mikroorganisme patogen (Handayani dan Sa'diyah, 2022).

d. Aplikasi asap cair dalam pengawetan pangan

Asap cair banyak digunakan dalam industri pangan untuk pengawetan produk-produk seperti ikan, daging, dan sayuran. Penerapan asap cair pada produk makanan dapat dilakukan melalui metode perendaman atau penyemprotan langsung. Penggunaan asap cair sebagai bahan pengawet alami juga semakin meningkat seiring dengan meningkatnya permintaan akan produk yang minim bahan pengawet sintetis (Ayudiarti dan Sari, 2010).

e. Grade asap cair

Asap cair diklasifikasikan menjadi tiga grade utama berdasarkan proses pemurnian, komposisi kimia, dan aplikasi penggunaannya. Klasifikasi ini mencakup Grade 1, Grade 2, dan Grade 3, yang masing-masing memiliki karakteristik dan kegunaan berbeda.



Gambar 4 Asap cair grade 1,2 dan 3
Sumber : (Fathussalam dkk., 2019)

Asap cair dengan kualitas grade 1 merupakan kualitas tertinggi, ditandai dengan warna bening, rasa sedikit asam, dan aroma netral. Asap cair ini memiliki konsentrasi fenol dan asam organik tertinggi (fenol hingga 5,76% dan asam asetat 20,65%), yang membuatnya ideal sebagai pengawet makanan, seperti bakso, tahu, dan mie, serta biofungisida dalam pertanian. Proses pembuatannya melibatkan distilasi tiga kali dengan filtrasi menggunakan arang aktif untuk menghilangkan tar dan senyawa karsinogenik, sehingga aman digunakan pada produk yang dikonsumsi manusia (Mulyawanti dkk., 2019).

Kualitas asap cair grade 2 memiliki kualitas menengah, dengan warna kecokelatan transparan, rasa asam sedang, dan aroma asap yang lebih kuat

dibanding Grade 1. Kandungan fenol dan asam organiknya sedikit lebih rendah (fenol 5,12% dan asam asetat 18,57%), namun masih efektif sebagai pengawet makanan seperti ikan dan daging asap (Bora dan Bunga, 2024). Asap cair ini dihasilkan melalui distilasi dan filtrasi dua kali menggunakan zeolit untuk mengurangi kandungan tar dan meningkatkan kemurnian (Mulyawanti dkk., 2019). Sementara itu, grade 3 adalah kualitas terendah, ditandai dengan warna gelap, rasa asam tajam, dan aroma asap yang kuat. Kandungan fenol dan asam organiknya paling rendah (fenol 3,15% dan asam asetat 14,62%), dan masih mengandung tar dalam kadar tinggi. Karena itu, asap cair ini tidak cocok untuk makanan dan biasanya digunakan untuk pengawetan non-makanan, seperti kayu tahan rayap atau bahan penghilang bau pada karet. Grade ini dihasilkan langsung dari proses pirolisis tanpa distilasi lebih lanjut (Bora dan Bunga, 2024).

f. Keamanan dan regulasi asap cair

Penggunaan asap cair sebagai bahan pengawet makanan harus mematuhi standar keamanan pangan yang ketat. Senyawa fenol dalam asap cair, misalnya, dapat bersifat toksik jika kadarnya terlalu tinggi. Oleh karena itu, terdapat batas maksimum penggunaan fenol dalam produk pangan yang diatur oleh badan regulasi, seperti FDA dan EFSA. Selain itu, proses pemurnian asap cair sangat penting untuk menghilangkan senyawa berbahaya seperti Poliaromatik Hidrokarbon (PAH), yang berpotensi bersifat karsinogenik (Ayudiarti dan Sari, 2010).

Asap cair yang telah dimurnikan terbukti aman untuk dikonsumsi sebagai aditif makanan dalam jangka panjang, dan penggunaannya sebagai pengawet makanan memiliki sejarah yang panjang. Selama produk disiapkan dan dimurnikan dengan benar, tidak ada risiko kesehatan yang dilaporkan bagi manusia. Asap cair juga tidak memiliki efek berbahaya bila digunakan pada tanah subur. Sebaliknya, pada tingkat yang tepat, asap cair memberikan beragam manfaat, seperti meningkatkan kesehatan tanah, hasil panen, dan pertumbuhan tanaman. Selain itu, cuka kayu juga dapat berfungsi sebagai nematisida, meningkatkan keanekaragaman mikroba, membantu degradasi herbisida, dan mengurangi gen resistensi mikroba di sekitar akar tanaman Gama *et al.*, (2024).

2.2. Kerangka berpikir

Cabai merah (*Capsicum annum* L.) merupakan salah satu komoditas pertanian yang memiliki nilai ekonomi tinggi di Indonesia. Namun, penyakit antraktinosa yang disebabkan oleh jamur *Colletotrichum* sp. dapat menyebabkan kerugian signifikan bagi petani. Pengendalian yang dilakukan pada saat budidaya cabai untuk penyakit ini umumnya dilakukan dengan menggunakan fungisida kimia, yang sering kali menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Oleh karena itu, diperlukan alternatif pengendalian yang lebih ramah lingkungan tanpa bahan kimia yang merusak lingkungan.

Asap cair adalah hasil pirolisis bahan organik, yang melibatkan pemanasan bahan dalam kondisi minim oksigen (*absent oxygen*). Asap cair yang dihasilkan dari tongkol jagung mengandung senyawa bioaktif, seperti fenol, asam organik (misalnya, asam asetat), karbonil, dan beberapa senyawa aromatik lainnya yang memiliki sifat antimikroba.

Asam organik seperti asam asetat adalah komponen penting dalam asap cair yang memiliki pengaruh signifikan terhadap sel jamur. Asam asetat menurunkan pH intraseluler, menyebabkan pengasaman sitoplasma yang memicu stress pada sel dan mengganggu aktivitas enzim yang bergantung pada pH tertentu untuk berfungsi dengan baik. Selain itu, pada konsentrasi tertentu, asam asetat dapat memicu mekanisme kematian sel, yang ditandai oleh perubahan struktural seperti kondensasi kromatin, fragmentasi DNA, dan pelepasan sitokrom c dari mitokondria. Kerusakan mitokondria ini mengakibatkan pelepasan molekul-molekul penting, termasuk sitokrom c, yang berperan dalam jalur kematian sel (Chaves *et al.*, 2021).

Senyawa fenol dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme patogen melalui penghambatan enzim, perusakan membran sel, dan pengikatan logam beracun untuk mengurangi kerusakan sel tanaman. Fenol dapat mengganggu fungsi protein pada membran sel patogen, menyebabkan kebocoran sel, dan menghambat proses metabolisme penting yang dibutuhkan untuk pertumbuhan dan reproduksi. Selain itu fenol mempunyai beberapa turunan seperti flavonoid, tanin, lignin, asam salisilik dan fitoalexin (Kumar *et al.*, 2020). Dalam konteks ini, fenol pada asap cair

memiliki potensi untuk menghentikan perkembangan *Colletotrichum* sp., yaitu jamur penyebab penyakit antraknosa pada cabai merah.

Penggunaan bahan alami sebagai metode pengendalian hayati menjadi pilihan yang lebih aman dan ramah lingkungan dibandingkan dengan penggunaan pestisida sintetis. Asap cair yang dihasilkan dari bahan organik, seperti tongkol jagung, dapat digunakan sebagai pengendali patogen tanaman tanpa meninggalkan residu bahan kimia yang berbahaya.

Penggunaan pestisida sintetis sangat umum digunakan di kalangan petani karena kemudahan akses, praktik aplikasi yang sederhana, ketersediaan dalam jumlah besar, dan hasil yang cepat terlihat dibandingkan asap cair. Meskipun pestisida sintetis efektif dalam mengendalikan kerugian hasil pertanian akibat organisme pengganggu, penggunaannya juga memiliki dampak negatif baik secara langsung maupun tidak langsung, secara langsung dapat meninggalkan residu pada hasil panen, sedangkan secara tidak langsung dapat membahayakan kesehatan konsumen, mencemari lingkungan karena terbuat dari bahan tidak terbarukan, serta membunuh organisme lain yang bukan target (Zuanif dan Despita, 2019). Penggunaan asap cair lebih berkelanjutan karena dapat dihasilkan dari limbah pertanian.

Tongkol jagung, yang sering kali dibuang sebagai limbah setelah panen, dapat diproses menjadi asap cair untuk mengatasi penyakit tanaman. Asap cair ini dapat menjadi alternatif pengendalian yang ramah lingkungan karena senyawa-senyawa antimikroba alaminya mudah terurai dan tidak meninggalkan residu berbahaya. Asap cair tongkol jagung juga dapat diandalkan sebagai biofungisida yang aman bagi pengguna dan lingkungan, sekaligus memberikan nilai tambah dari limbah jagung. Seperti pada penelitian Handayani dkk., (2018) yang menyatakan bahwa asap cair dari tongkol jagung yang dilakukan pemurnian menggunakan arang aktif memiliki pH dibawah 3 dan mengandung 15 kemungkinan senyawa yang 3 diantaranya yaitu fenol, asam asetat dan 2-furancarboxaldehyde di mana senyawa tersebut memiliki potensi sebagai antifungal.

Beberapa studi menunjukkan bahwa asap cair memiliki efek antifungal atau antijamur yang kuat, terutama dalam mengendalikan patogen tanaman seperti

Colletotrichum sp. pada cabai merah. Seperti pada penelitian Melani (2020) menjelaskan bahwa asap cair tempurung kelapa dan sekam padi dapat menghambat pertumbuhan jamur *Colletotrichum capsici* dengan konsentrasi 3% sampai 7%.

Efektivitas asap cair sangat tergantung pada konsentrasi konsentrasi yang terlalu rendah mungkin tidak cukup untuk menekan pertumbuhan *Colletotrichum* sp., akibatnya pertumbuhan jamur tidak dapat ditekan dengan sempurna, sedangkan konsentrasi yang terlalu tinggi bisa menyebabkan efek fitotoksik (Lubis, Mardhiansyah dan Somadona, 2021). Penelitian Zuanif dan Despita, (2019), menyatakan bahwa asap cair tempurung kelapa dan sekam padi dengan konsentrasi 1% mampu menghambat pertumbuhan jamur *Colletotrichum* sp selama 4 hari dan perlu dilakukan pemberian asap cair ulang setiap 4 hari sekali, sedangkan asap cair dengan konsentrasi 3% sampai 7% dapat menghambat pertumbuhan jamur *Colletotrichum* sp. 100% secara *in vitro*. Konsentrasi ini telah diuji secara pribadi menggunakan asap cair tongkol jagung dengan konsentrasi 3% sampai 6% untuk uji pendahuluan *in vitro*, hasil yang didapat yaitu konsentrasi minimal (3%) menghambat pertumbuhan patogen 100%.

Sebelum dilakukan pengujian utama, terlebih dahulu dilakukan uji pendahuluan untuk menentukan konsentrasi asap cair tongkol jagung yang akan digunakan pada uji *in vitro*. Pada uji pendahuluan, asap cair tongkol jagung dengan konsentrasi 3% sampai 6% diaplikasikan terhadap pertumbuhan patogen. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa konsentrasi minimal 3% sudah mampu menghambat pertumbuhan *Colletotrichum* sp. sebesar 100% secara *in vitro*. Temuan ini menjadi dasar dalam pemilihan konsentrasi perlakuan untuk penelitian utama.

Penelitian lainnya menunjukkan konsentrasi asap cair tandan kosong buah sawit yang dapat menghambat jamur *Colletotrichum* sp yaitu pada konsentrasi 0,42% sampai 0,52% dengan daya hambat minimum pada konsentrasi 0,42% dengan diameter koloni 1,6 cm dan pada konsentrasi 0,52% dapat menghambat pertumbuhan *Colletotrichum* sp sebesar 100% (Wardoyo dkk., 2020).

2.3. Hipotesis

Berdasarkan uraian pada kerangka berpikir di atas, maka dirumuskan hipotesis sebagai berikut:

1. Asap cair tongkol jagung memiliki efikasi terhadap *Colletotrichum* sp. penyebab antraknosa pada cabai merah secara *in vitro* dan *in vivo*.
2. Terdapat konsentrasi asap cair tongkol jagung yang memiliki efikasi antijamur terhadap patogen antraknosa (*Colletotrichum* sp.) secara *in vitro* dan *in vivo*