

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA, KERANGKA PEMIKIRAN, DAN HIPOTESIS

2.1 Tinjauan pustaka

2.1.1 Tanaman stroberi

Tanaman stroberi pertama kali ditemukan di pegunungan Chili, Amerika Selatan. Di Indonesia buah stroberi dikenal dengan sebutan arbei (dari bahasa Belanda: aardbei). Stroberi merupakan komoditas yang cukup populer dan banyak disukai masyarakat. Buah stroberi kaya akan gizi yang dibutuhkan oleh tubuh sehingga banyak diminati. Stroberi memiliki banyak vitamin yang diperlukan oleh tubuh seperti vitamin A dan C serta kaya akan antioksidan yang baik untuk dikonsumsi. Tanaman stroberi umumnya dapat mengalami pertumbuhan diketinggian setidaknya 600 mdpl, pada suhu 17 sampai 20°C, dengan kelembapan udara 80 sampai 90%, dan lama penyinaran 8 sampai 10 jam dalam satu hari (Mahardika et al., 2023).

Dalam sistematika atau taksonomi tumbuhan tanaman stroberi dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

Kingdom	: <i>Plantae</i>
Divisi	: <i>Spermatopytha</i>
Subdivisi	: <i>Angiospermae</i>
Kelas	: <i>Dicotyledonae</i>
Ordo	: <i>Rosales</i>
Famili	: <i>Rosaceae</i>
Genus	: <i>Fragraria</i>
Spesies	: <i>Fragraria</i> sp.

Stroberi merupakan buah yang tumbuh pada daerah sub tropika, stroberi yang saat ini dibudidayakan di Indonesia merupakan hasil dari introduksi dan persilangan yang menjadi varietas lokal potensial, salah satunya yaitu varietas *Mencir* yang berasal dari Bandung, Jawa Barat. Varietas *Mencir* merupakan persilangan dari varietas Festival dan California, varietas ini memiliki adaptasi yang baik pada daerah dataran tinggi maupun dataran rendah. Memiliki karakteristik tanaman yaitu, daun rimbun dengan jumlah daun >13 per rumpun, bunga berwarna

putih, permukaan buah yang halus, memiliki bentuk buah bervariasi mulai dari bulat, segitiga sampai lonjong, namun umumnya dominan berbentuk bulat. Stroberi jenis ini memiliki ukuran yang cukup besar, rasa manis, dan berair (*juicy*) (Haryati et al., 2023).

Buah stroberi umumnya dapat dipanen pada umur dua bulan setelah tanam. Stroberi merupakan buah non-klimaterik sehingga waktu panen harus benar-benar tepat yaitu pada saat buah sudah matang penuh, sehingga memperoleh kualitas buah yang baik mulai dari segi penampilan, warna, tekstur serta kesegaran buah. Selain itu buah stroberi merupakan buah yang mudah rusak (*perishable*) sehingga proses pemanenan harus dilakukan secara hati-hati. Tingkat kematangan buah stroberi sangat penting dalam mempengaruhi ketahanan buah stroberi dari kerusakan dan umur simpan. Tingkat kematangan saat dipanen yang dianjurkan yaitu pada fase 4 dan fase 5 atau dapat disesuaikan pada kebutuhan dan tujuan pasar seperti yang terdapat pada Tabel 1 dan Gambar 1 (Haryati et al., 2023).



Gambar 1. Tingkat kematangan buah stroberi (Sumber: Haryati et al., 2023).

Tabel 1. Fase tingkat kematangan buah stroberi

Fase	Warna	Persentase kematangan
1	Putih	>25%
2	Merah	25%
3	Merah	50%
4	Merah	75%
5	Merah	90%
6	Merah	100%

Sumber: Haryati et al. (2023)

2.1.2 Penyakit Busuk Lunak

Busuk lunak merupakan salah satu penyakit yang sering menyerang buah stroberi pada saat pascapanen. Penyakit buah yang disebabkan oleh *R. stolonifer* dikenal juga sebagai busuk lunak, black mold, atau busuk *Rhizopus*. *Rhizopus stolonifer* merupakan salah satu penyebab busuk pada berbagai bahan makanan, buah dan sayur. Buah matang biasanya rentan terserang oleh *R. stolonifer* karena memiliki kandungan air yang tinggi. *R. stolonifer* adalah agen yang mampu merusak bahan organik melalui dekomposisi, sporanya dapat menyebar melalui udara dan tumbuh dengan cepat pada suhu antara 15°C sampai 30°C (Natawijaya, 2015).

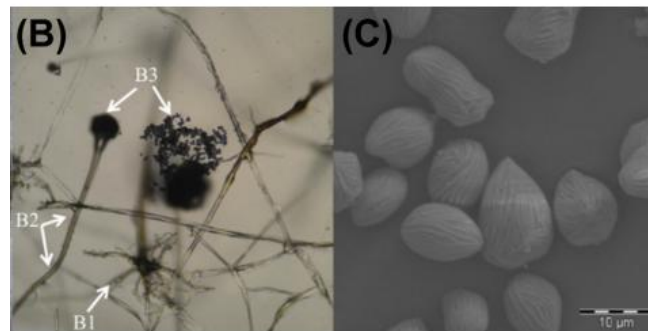
Fungi *Rhizopus stolonifera* diklasifikasikan sebagai berikut (Shipper, 1984, dalam Bautista-Baños et al., 2014)):

Kingdom	: Fungi
Filum	: Zygomycota
Kelas	: Zygomycetes
Ordo	: Mucorales
Famili	: Mucoraceae
Genus	: Rhizopus
Spesies	: <i>Rhizopus stolonifer</i>

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Bautista-Baños et al., (2014), menunjukkan bahwa, bentuk dari miselium *R. stolonifer* yaitu kerucut-silinder, berwarna abu-abu atau kecoklatan, tingginya mencapai 140 µm dan bercabang sampai terbentuk miselium kusut. Miselium ini akan tumbuh dari berbagai titik hifa tegak membentuk pertumbuhan berwarna keputihan didalam kultur yang akhirnya berubah menjadi bitnik-bintik hitam bernama spongiofor dengan panjang sekitar 1-3 mm dan berdiameter 20-25 µm. Setiap spongiofor memiliki sporangium bulat tunggal dengan diameter sekitar 250 µm yang mengandung banyak spongiospora dengan panjang serta diameter sekitar 13 µm dalam kisaran 100-275 µm. Spora *Rhizopus* memiliki bentuk yang berbeda seperti sudut, subglobose, dan ellipsoidal dengan punggungan yang ditandai dengan baik pada permukaan, tergantung pada

kematangan. Namun Hernández-Lauzardo *et al.* (2005) dalam Bautista-Baños *et al.*, (2014), mengkonfirmasi bahwa tipe globose merupakan bentuk utama dari *R. stolonifer*, yang bervariasi dalam ukuran, diameter dan luas pada setiap isolat.

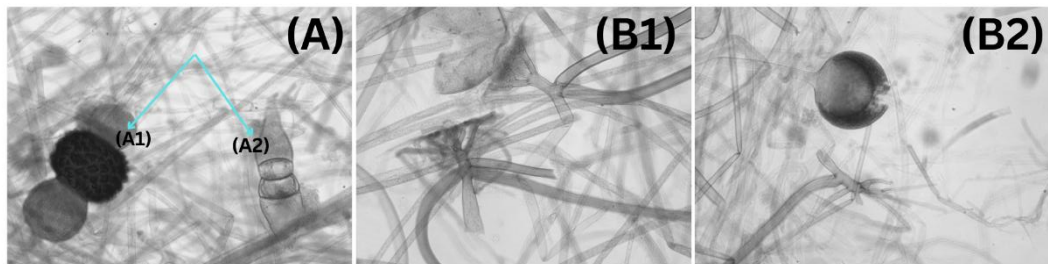
Gambar 2. Morfologi *Rhizopus stolonifer*: (B) fotomikrografi optik menunjukkan



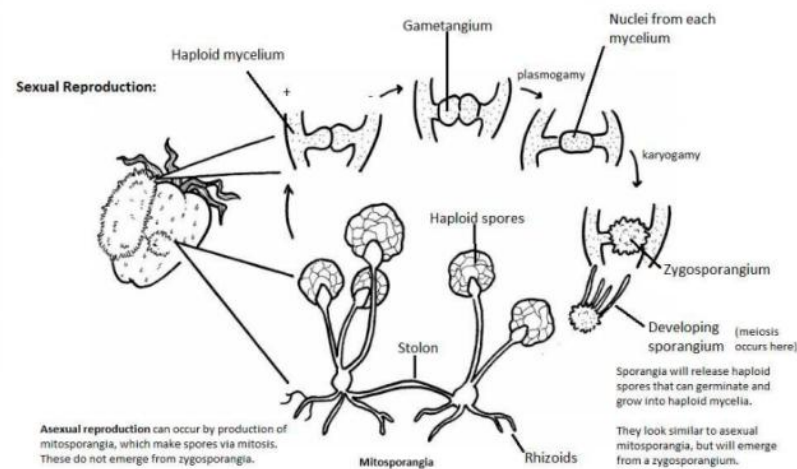
(B1) rimpang bercabang, (B2) columnella (miselium), (B3) sporangiofor dan sporangiospora, dan (C) pemindaian mikrofografi elektron yang menunjukkan keragaman bentuk (Sumber: Bautista-Baños *et al.*, 2014).

Menurut Irianto (2012) siklus hidup patogen *R. stolonifer* dimulai ketika dinding sporangium larut, sehingga sporangiospora mampu menyebar dan melekat pada objek disekitarnya. Jika objek tersebut menyediakan lingkungan yang cocok untuk pertumbuhan, maka sporangiospora akan mulai berkecambah dan berkembang menjadi organisme dengan hifa somatik. Selain itu, akan terbentuk rhizoid yang masuk ke dalam medium. Ujung spongiofor akan berkembang menjadi sporangium yang dipenuhi oleh banyak sekali sporangiospora. *R. stolonifer* bereproduksi secara seksual dan aseksual yang menghasilkan spora haploid yang dapat berkecambah dan tumbuh menjadi mislium haploid. Namun, spora yang dihasilkan oleh mitosporangia akan identik secara genetik, sedangkan spora yang dihasilkan oleh sporangia yang muncul dari zigosporangium akan berbeda secara genetik. Pada reproduksi seksual, dua miselia haploid (+ dan -) yang kompatibel saling mengidentifikasi. Ketika dua miselia bertemu, maka gametangia (A2) akan terbentuk, yang berisi inti haploid. Dinding diantara gametangia larut dan terjadi plasmogami. Inti-inti tersebut menyatu membentuk zigospora diploid di dalam sporangium, lalu berkecambah dari zygosporangium (A1) menjadi spora haploid

secara meiosis, selanjutnya berkecambah dan tumbuh menjadi miselia baru. Dalam reproduksi aseksual, mitosporangia menghasilkan spora haploid melalui mitosis. Mitosporangia tidak dihasilkan dari zigosporangium, sebaliknya, yaitu memiliki jaringan hifa (rizoid) (B1) yang tampak seperti akar dan sambungan lateral (stolon) ke gugus mitosporangia lainnya (Morrow, 2025).



Gambar 3. (A) Reproduksi seksual *R. stolonifer* (B1) Mitosporangium (B2) Reproduksi aseksual *R. stolonifer* (Sumber: Morrow, 2025).



Gambar 4. Siklus hidup *Rhizopus stolonifer* (Sumber: Morrow, 2025).

Mekanisme penyebaran fungi *R. stolonifer* antara lain angin, arus udara, dan beberapa invertebrata seperti tungau dan serangga. Infeksi yang disebabkan oleh patogen *R. stolonifer* biasanya terjadi karena cedera dilapangan, retak pada buah, maupun luka mekanis. Pada sebagian besar buah dan sayuran, gejala infeksi yang disebabkan oleh *R. stolonifer* dapat terlihat pada hari ke 3-6, dimana buah akan tampak basah dan terdapat lindi yang jernih. Pada awal terinfeksi permukaan buah

akan ditutupi oleh struktur fungi yang tipis, halus, seperti kapas (Gambar 5). Setelah *R. stolonifer* masuk kedalam jaringan yang terluka, miselianya akan menyebar disekitar lokasi infeksi. Akhirnya, spora gelap membentuk massa sporangia hitam diujungnya, menutupi seluruh permukaan buah. Infeksi *R. stolonifer* berkaitan erat dengan aktivitas enzimatik, yang memiliki peran penting dalam kolonisasi pada buah (Bautista-Baños et al., 2014).

2.1.3 Tempurung kelapa

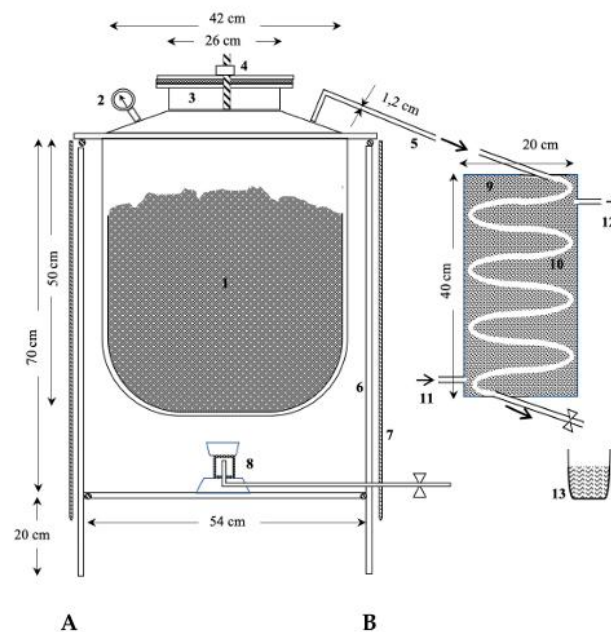
Tempurung kelapa merupakan bagian dari buah kelapa yang memiliki fungsi biologis untuk melindungi inti buah dengan ketebalan berkisar antara 2-6 mm. Tempurung kelapa dapat dikategorikan sebagai kayu keras, mengandung kadar selulosa yang rendah serta lignin yang tinggi (Darmadji et al., 2002) serta memiliki kadar air 6 sampai 9% (Juandri et al., 2017). Limbah tempurung kelapa selain dapat dimanfaatkan sebagai arang juga dapat dimanfaatkan sebagai asap cair yang berpotensi sebagai biopestisida karena mengandung senyawa fenol, karbonil, dan senyawa asam yang dapat mematikan organisme pengganggu. Asap cair yang berasal dari tempurung kelapa memiliki kadar karbonil 13,28%, senyawa asam 11,39% dan fenol 5,13% (Alisa & Iswendi, 2023).

Asap cair tempurung kelapa memiliki kelebihan dibandingkan yang berasal dari bahan baku kayu lainnya, beberapa diantaranya yaitu untuk membatasi pertumbuhan patogen serta bakteri pembusuk dan mengandung senyawa asetat yang potensial sebagai antimikroba (Darmadji, 1996 dalam Alisa & Iswendi, 2023). Asap cair tempurung kelapa terbukti memiliki bau yang khas, warna, serta kemampuan dalam menghambat pertumbuhan fungi, serta memiliki cita rasa yang spesifik (Kasim et al., 2015).

2.1.4 Asap cair

Asap cair (*smoke liquid*) merupakan hasil kondensasi atau pengembunan dari uap hasil pembakaran yang diperoleh melalui proses pirolisis berasal dari bahan yang mengandung komponen selulosa, senyawa asam, hemiselulosa dan lignin. Pirolisis merupakan degradasi termal dari biomassa pada suhu yang tinggi dan berlangsung tanpa adanya oksigen atau dengan oksigen yang terbatas. Proses

pirolisis ini melibatkan reaksi dekomposisi dimana pengaruh panas, polimerasi, dan kondensasi atau pengembunan asap menjadi bentuk cairan (Darmadji et al., 2002).



Gambar 5. Perangkat pirolisis biomassa: A: Kiln Pirolisis, terdiri dari: (1) biomassa, (2) termometer, (3) lubang pemasukan bahan, (4) penutup dilengkapi perapat asbes dan skrup pengencang, (5) pipa saluran gas keluar, (6) besi 15 mm sebagai rangka penyangga, (7) plat pelindung, dan (8) kompor pemanas; B: Kondensor, yang terdiri dari: (9) tabung kondensor berisi air pendingin, (10) pipa koil, (11) pipa air dingin masuk, (12) pipa air hangat keluar, dan (13) gelas penampung asap cair. (Sumber: *Rahmat & Benatar, 2024*).

Pembakaran pirolisis dapat menghasilkan produk utama yang berupa char (arang), asap cair (bio-oil) dan gas. Arang yang dihasilkan merupakan bahan bakar yang memiliki nilai kalori yang tinggi atau dapat digunakan sebagai karbon aktif. Asap cair yang dihasilkan dari proses pirolisis dapat dimanfaatkan sebagai zat *additive* atau bahan pengawet makanan dan produk tertentu. Sedangkan gas yang dihasilkan dari proses pirolisis dibedakan menjadi dua yaitu gas yang tidak terkondensasi (CO , CO_2 , CH_4 , dll) serta gas yang dapat terkondensasi (*tar*). Minyak

akan dihasilkan pada proses kondensasi dari gas yang terbentuk, yang dikenal sebagai asap cair (Ridhuan et al., 2019).

Lignin yang dihasilkan dari proses pirolisis menghasilkan senyawa yang berperan sebagai aroma asap dari produk-produk hasil pengasapan. Senyawa-senyawa lain yaitu fenol dan eter fenolik seperti guaiacol (2 metoksi fenol) serta homolognya dan turunannya. Fenol yang dihasilkan dari dekomposisi lignin terjadi pada suhu 300°C dan pada suhu 400°C (Grand, 1992 dalam Darmadji et al., 2002). Fungsi asap cair yaitu dalam proses pengawetan karena adanya kandungan fenol dan asam yang berperan sebagai antibakteri dan antioksidan. Asap cair juga mengandung senyawa yang bersifat merugikan seperti ter dan senyawa binzopiren yang bersifat toksik dan karsinogenik serta menyebabkan kerusakan asam amino esensial dari protein dan vitamin-vitamin. Hal ini dipengaruhi adanya sejumlah bahan kimia yang terdapat dalam asap cair yang dapat bereaksi dengan komponen bahan makanan (Pszczola, 1995 dalam Darmadji et al., 2002).

Dalam bidang pertanian asap cair juga berperan dalam penanggulangan serangan patogen penyebab penyakit pascapanen yang berperan sebagai disinfektan untuk menjamin buah-buahan dan sayuran dari serangan penyakit pascapanen. Asap cair mengandung lebih dari 400 komponen dan memiliki fungsi untuk menghambat perkembangan bakteri dan cukup aman dijadikan pengawet alami (Fachraniah *et al.*, 2009 dalam Fauzan & Ikhwanus, 2017). Untuk menghasilkan asap cair yang aman bagi produk makanan, buah dan sayur maka diperlukan proses redestilasi untuk menghasilkan asap cair dengan *grade* 1. Redestilasi merupakan cara pemurnian asap cair, yaitu merupakan proses pemisahan kembali suatu larutan berdasarkan titik didihnya. Redestilasi dilakukan untuk menghilangkan senyawa yang berbahaya dan tak diinginkan, seperti poliaromatik hidrokarbon (PAH) dan tar, dengan cara mengatur suhu didih sehingga diperoleh asap cair yang jernih, bebas tar dan benzopiren. Destilasi asap cair dilakukan pada suhu 100°C sampai 150°C (Darmadji et al., 2002).

Destilasi bertujuan untuk mendapatkan kualitas asap cair berdasarkan tampilan warna dan kejernihannya. Untuk memperoleh kualitas asap cair terbaik maka asap cair *grade* 3 harus difraksinasi dengan destilasi. Selanjutnya untuk

medapatkan asap cair grade 2 dan grade 1, maka perlu dilakukan destilasi dari asap cair grade 3 di dalam sebuah destilator. Dalam pemanfaatan asap cair terdiri dari 3 kelompok yang menunjukkan kualitas dan kegunaanya masing-masing, seperti:

- a. asap cair grade 3: Tidak dapat digunakan sebagai pengawet makanan karena mengandung banyak tar yang bersifat karsinogenik, namun dapat digunakan dalam pengolahan karet, penghilang bau serta pengawet kayu untuk menahan rayap (Fauzan & Ikhwanus, 2017). Pada penelitian Saputra et al. (2020), warna asap cair grade 3 berwarna kuning bening namun masih memiliki bau asap yang kuat.
- b. Asap cair grade 2: Asap cair grade 2 dapat digunakan sebagai pengawet makanan pengganti formalin, selain itu pada grade ini kandungan asam dan kandungan fenol juga meningkat sehingga aman untuk digunakan serta memiliki warna yang lebih jernih (Saputra et al., 2020).
- c. Asap cair grade 1: Asap cair grade ini memiliki warna jernih bening dengan aroma asap yang lebih ringan dibanding dengan asap cair grade dibawahnya. Pada grade ini kandungan asam dan fenol lebih meningkat sehingga digunakan untuk mengawetkan makanan selain grade 2 dan tidak ada lagi senyawa pengotor sehingga jauh lebih aman digunakan pada bahan makanan, buah dan sayur (Saputra et al., 2020).

2.2 Kerangka berpikir

Serangan patogen merupakan salah satu faktor yang dapat merusak kualitas hasil panen selama penyimpanan. Patogen dapat menyerang buah mulai dari batang, daerah yang berlubang, maupun luka pada buah. Penyakit busuk lunak pada buah stroberi disebabkan oleh fungi patogen *Rhizopus stolonifer* sehingga menyebabkan penurunan kualitas pada buah stroberi. Infeksi yang disebabkan oleh patogen *R. stolonifer* biasanya terjadi karena cedera dilapangan, retak pada buah, maupun luka mekanis, sehingga gejala akan muncul pada hari 3 sampai 6 selama masa penyimpanan (Bautista-Baños et al., 2014). Kerusakan dapat terjadi secara mekanis dan fisiologis. Kerusakan yang terjadi secara fisiologis pada komoditas hortikultura yaitu lecet, terkelupas, kering, layu memar, dan busuk setelah dipanen. Dampak yang terjadi adalah buah-buahan tidak dapat disimpan dalam waktu yang lama.

Stroberi memiliki kadar air yang tinggi sehingga mudah busuk akibat aktivitas enzim atau mikroorganisme (Garcia *et al.* 1998 dalam Sukasih & setyadjit, 2019).

Pengendalian buah stroberi terhadap patogen *R. stolonifer* biasanya dengan mengaplikasikan fungisida selama penyimpanan. Namun penggunaan bahan kimia dapat menyebabkan gangguan kesehatan dalam jangka panjang bagi konsumen dan dapat berpotensi mencemari lingkungan jika digunakan secara kontinu. Alternatif yang dapat dilakukan yaitu dengan menggunakan asap cair sebagai fungisida alami yang ramah terhadap lingkungan dan tidak menimbulkan gangguan kesehatan bagi konsumen. Asap cair merupakan produk yang dihasilkan dengan cara pirolisis biomassa tumbuhan selain arang dan gas. Limbah tempurung kelapa dapat dimanfaatkan sebagai pembuatan bahan baku asap cair, hal ini dapat menjadi alternatif lain untuk menambah daya guna limbah tempurung kelapa secara optimal. Asap cair dari limbah tempurung kelapa memiliki fenol, karbonil dan senyawa asam dimanfaatkan sebagai antifungi pengganti fungisida kimia. Asap cair yang berasal dari tempurung kelapa memiliki kadar karbonil 13,28%, senyawa asam 11,39% dan fenol 5,13% (Alisa & Iswendi, 2023). Asam organik terutama asam asetat, memberikan dampak yang signifikan dalam menghambat pertumbuhan fungi. Asam asetat memiliki kemampuan dalam menahan perkembangan mikroorganisme, sementara alkohol berperan dalam denaturasi protein, sehingga dapat merusak struktur sel. Selain itu fenol merupakan antiseptik dan disinfektan yang efektif yang dapat mengurangi fungsi enzim (Ray, 1996 dalam Melani, 2020).

Efektivitas konsentrasi asap cair berpengaruh dalam menghambat pertumbuhan fungi, semakin besar konsentrasi asap cair maka semakin besar pula penghambatan fungi, begitu pula sebaliknya (Pangstu, 2014). Pada tingkat konsentrasi yang lebih rendah, kandungan senyawa aktif yang terdapat dalam asap cair seperti fenol dan asam asetat belum cukup untuk menghambat pertumbuhan mikroba, sehingga tidak efektif dalam mencegah kerusakan atau memperpanjang umur simpan buah secara optimal. Namun, penggunaan asap cair dengan konsentrasi yang terlalu tinggi dapat mengakibatkan fitotoksisitas yang dapat mengurangi daya tahan buah (Yunita, et al., 2018).

Penelitian yang dilakukan terhadap pengaruh asap cair dalam menghambat pertumbuhan patogen telah banyak dilakukan. Hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan Melani (2020), pada konsentrasi terbaik 3%, 5%, dan 7%, asap cair tempurung kelapa maupun sekam mampu menghambat pertumbuhan fungi *Colletotrichum capsici* secara *in vitro*. Penelitian Matodang et al., (2022), perlakuan konsentrasi 3% asap cair tandan kosong kelapa sawit dapat menekan pertumbuhan patogen *Fusarium oxysporum* penyebab layu fusarium pada bawang merah melalui uji *in vitro* maupun di lapangan. Selain itu penelitian yang dilakukan oleh Yusmar, M et al., (2023) pengujian asap cair cangkang buah karet yang paling efektif dalam menekan laju pertumbuhan patogen *C. gloesporoides* dengan daya hambat 100% yaitu pada konsentrasi 2% sampai 5%. Berdasarkan penelitian tersebut menunjukkan bahwa limbah tempurung kelapa memiliki potensi sebagai fungisida nabati yang dapat menghambat pertumbuhan patogen *R. stolonifer* penyebab busuk lunak pada buah stroberi.

2.3 Hipotesis

Berdasarkan uraian kerangka berpikir, maka dapat dirumuskan hipotesis sebagai berikut:

- 1) Perlakuan asap cair tempurung kelapa efektif sebagai antifungi bagi *R. stolonifer* penyebab busuk lunak buah stroberi pada penyimpanan buah stroberi.
- 2) Diperoleh konsentrasi asap cair tempurung kelapa yang paling efektif sebagai antifungi bagi *R. stolonifer* penyebab busuk lunak pada penyimpanan buah stroberi.