

BAB II TINJAUAN PUSTAKA, KERANGKA BERPIKIR, DAN HIPOTESIS

2.1 Tinjauan pustaka

2.1.1 Pepaya

Pepaya (*Carica papaya* L.) merupakan tanaman yang berasal dari Meksiko Selatan dan Amerika Tengah dan sudah banyak dikembangkan di wilayah sub tropis seperti Florida, Hawaii, Afrika Timur dan Arika Selatan (Muljana, 2010). Buah pepaya memiliki kalori yang rendah dan mengandung serat yang tinggi. Daging buahnya bertekstur lunak dan memiliki kandungan air yang cukup sehingga mudah dicerna. Berdasar laporan USDA National Nutrient *data base*, buah pepaya juga diperkaya dengan berbagai macam vitamin dan mineral, yaitu vitamin A 1094 IU, vitamin C 61,8 mg, vitamin E 0,73 mg, vitamin K 2,6 µg, dan vitamin B (Tiamin 0,027 mg, riboflavin 0,032 mg, folat 38 µg, piridoksin 0,019 mg, niasin 0,338 mg, dan asam pantotenat 0,218 mg) serta mineral kalsium 24 mg, zat besi 0,1 mg, magnesium 10 mg, fosfor 5 mg, seng 0,07 mg, natrium 3 mg dan kalium 257 mg (Novita, 2016). Kedudukan tanaman pepaya dalam taksonomi tumbuhan diklasifikasikan sebagai berikut (Sujiprihati dan Suketi, 2009):

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Spermatophyta
Kelas	: Dicotyledonae
Ordo	: Caricales
Famili	: Caricaceae
Genus	: <i>Carica</i>
Spesies	: <i>Carica papaya</i> L.

Saat ini banyak petani yang membudidayakan pepaya varietas Calina (California). Pepaya Calina merupakan varietas unggul berumur genjah dengan mulai berbunga pada umur 3 bulan dan buahnya bisa dipanen setelah berumur 8 hingga 9 bulan. Jumlah buah yang dihasilkan 25 sampai 30 buah setiap pohonnya. Batangnya yang pendek dengan tinggi hanya sekitar 1,5 hingga 2 meter memudahkan petani dalam pemanenan (Novita, 2016). Banyak konsumen yang

menyukai varietas ini karena memiliki daging buah yang kenyal, tebal, dan rasanya manis. Bobot buahnya yang kecil sehingga mudah untuk dikonsumsi dan dibawa.

Pepaya merupakan buah klimakterik, yang pada proses pematangannya memproduksi CO₂ dan etilen yang tinggi sehingga mempercepat kematangan buah (Taris, Widodo, dan Suketi, 2015). Perubahan warna pada setiap tingkat kematangan buah pepaya Calina dapat dilihat pada Gambar 1. Tingkat kematangan ini dapat diidentifikasi dari kriteria warna kulit buah (Barragán-Iglesias, Méndez-Lagunas, dan Rodríguez-Ramírez, 2018). Selama proses pematangan, terjadi penurunan kadar klorofil yang disertai peningkatan kadar karotenoid, likopen, dan pigmen lainnya yang berakibat pada semakin intensnya warna kuning dan merah pada kulit dan daging buah (Schweiggert dkk., 2011).



Gambar 1. Perubahan warna pada setiap tingkat kematangan buah pepaya Calina (Sumber: Mukdisari, Suketi, dan Widodo, 2016)

Tabel 1. Tingkat kematangan buah pepaya

Stadia	Warna	Persentase kematangan
1	Hijau	<15%
2	Hijau dengan sedikit garis kuning	15%
3	Hijau kekuningan	25%
4	Kuning kehijauan	50%
5	Kuning dengan bercak hijau	75%
6	Kuning menyeluruh/jingga	100%

(Sumber: Mukdisari dkk., 2016; Garillos-Manliguez dan Chiang, 2021)

Pada umumnya buah pepaya dipanen pada stadia 2 dengan persentase kematangan 15% (Tabel 1), yang ditandai dengan munculnya garis-garis kuning. Pada stadia ini buah telah mencapai kematangan fisiologis (*Directorate of Agricultural Information Services Department of Agriculture, Forestry and*

Fisheries, 2009). Kematangan fisiologis merupakan stadia dimana buah mengalami perkembangan fisik maksimum dan sudah dapat dipanen (Barragán-Iglesias dkk., 2018). Seiring dengan peningkatan tingkat kematangan, terjadi perubahan karakteristik fisiokimia pada buah pepaya. Perbedaan karakteristik pada setiap stadia ini dapat dijadikan indikator untuk keperluan komersial. Perubahan fisiokimia tidak hanya terjadi pada warna, tetapi juga berasosiasi dengan tingkat kekakuan dan kandungan gula pada buah. Seiring dengan meningkatnya kematangan buah, tingkat kekakuan buah semakin menurun karena modifikasi komposisi dinding sel akibat aktivitas hidrolisis polisakarida (Yao dkk., 2014) dan penurunan serat kasar (Siriamompun dan Kaewseejan, 2017).

Buah pepaya yang matang di pohon akan memiliki rasa yang lebih manis jika dibandingkan dengan buah yang matang selama proses penyimpanan. Hal ini dikarenakan pepaya mengandung kadar pati yang rendah (0,1%) dan tidak disimpan sebagai sumber karbon untuk produksi gula (Gomez, Lajolo, dan Cordenunsi, 2002). Pepaya membutuhkan suplay gula secara berkesinambungan selama masa pematangan agar rasanya manis saat mencapai puncak kematangan (Paull dkk., 2008). Pepaya yang dipanen pada stadia pra-matang tidak menjamin memiliki sumber karbon yang mencukupi sehingga berdampak pada tingkat kemanisan buah selama penyimpanan pascapanen (Gomez dkk., 1999). Oleh sebab itu, untuk wilayah distribusi yang tidak terlalu jauh buah akan dipanen mendekati masa puncak kematangan.

2.1.2 Penyakit antraknosa pada buah pepaya

Kerusakan buah telah dimulai sejak buah tersebut dipanen, dengan tingkat kerusakan mencapai 40% di negara berkembang (Garillos-Manliguez dan Chiang, 2021). Penyebab utama kerusakan buah adalah: (1) pertumbuhan dan aktivitas mikroorganisme; (2) aktivitas enzimatis bahan pangan; (3) udara, khususnya oksigen; (4) kelembaban; (5) suhu; (6) cahaya; dan (7) hama (Santoso, 2006). Serangan patogen menjadi salah satu faktor yang dapat menyebabkan kerusakan hasil mencapai 50% pada produk buah-buahan (Soesanto, 2006).

Salah satu penyakit utama yang menyebabkan kehilangan hasil pada tanaman pepaya adalah penyakit antraknosa yang disebabkan jamur patogen *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz) Sacc. Di Indonesia, penyakit antraknosa merupakan masalah penting dalam usahatani pepaya, serangan penyakit ini terutama dijumpai di daerah pertanaman pepaya yang mempunyai curah hujan relatif tinggi. Tidak hanya menyerang buah, di pertanaman patogen ini juga dapat menyerang batang dan pucuk daun serta menyerang bibit di area pembibitan. Gejala serangan penyakit antraknosa pada buah pepaya dan bentuk konidia patogen dapat dilihat pada Gambar 2.



(a)



(b)

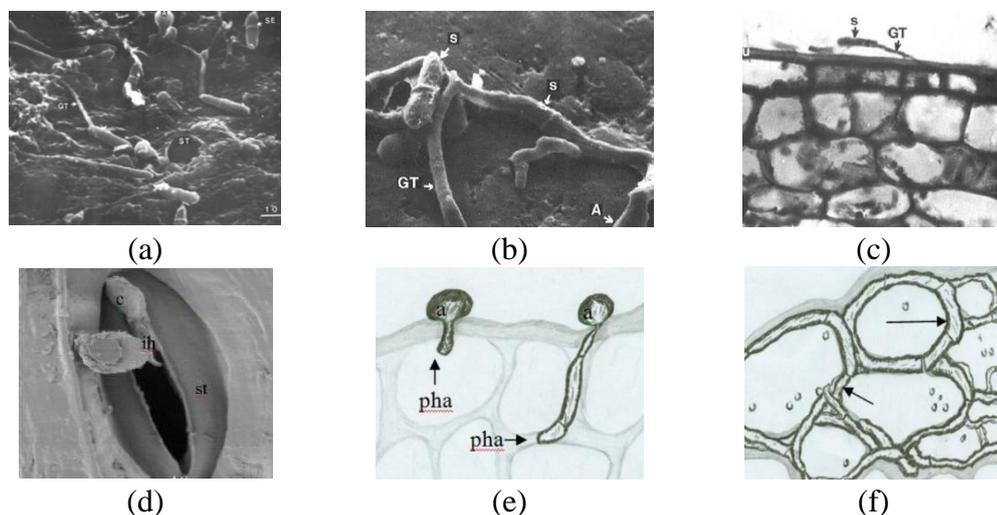
Gambar 2. Gejala dan bentuk konidia *Colletotrichum gloeosporioides* (Sumber: Kebede, Gabrekiristos, dan Dagnew, 2021)
Keterangan : (a) Gejala penyakit, (b) Konidia *C. gloeosporioides*

Morfologi dari patogen *C. gloeosporioides* umumnya mempunyai konidium hialin, berbentuk silinder dengan ujung-ujung tumpul, kadang-kadang berbentuk agak jorong dengan ujung yang membulat dan pangkal yang sempit terpancung, tidak bersekat, berinti satu, 9–24 x 3–6 μm , terbentuk pada konidiofor seperti fialid, berbentuk silinder, hialin atau agak kecokelatan (Syafnidarti, Nasir, dan Jumjunidang, 2013). Adapun klasifikasi *C. gloeosporioides* menurut Dwidjoseputro (1978) adalah sebagai berikut:

Divisio	: Mycota
Kelas	: Deuteromyces
Ordo	: Melanconiales
Famili	: Melanconiaceae
Genus	: Colletotrichum
Spesies	: <i>Colletotrichum gloeosporioides</i>

Jamur dalam kelas *Deuteromycetes* ini merupakan bentuk anamorfik (bentuk aseksual), dan pada saat jamur tersebut dalam telemorfik (bentuk seksual)

masuk ke dalam kelas *Ascomycetes* yang dikenal dengan jamur dalam genus *Glomerella*. Spesies *Colletotrichum* menyebabkan penyakit antraknosa pada beberapa tanaman dan bagian taman yang berbeda seperti akar, batang, daun, bunga, dan buah (Jeffries dkk., 1990). Selain pada pertanaman, patogen juga menyerang buah pada pascapanen dan menimbulkan gejala seiring dengan meningkatnya tingkat kematangan pada penyimpanan buah. Pada kondisi yang menguntungkan, konidia akan membentuk septa, kemudian berkecambah dan membentuk *appressoria* sebagai syarat untuk melakukan penetrasi pada jaringan buah (Moraes, Tanaka, dan Júnior, 2013). Penetrasi dapat dilakukan secara langsung melalui kutikula atau melalui celah stomata (Panday, Alberto, dan Labe, 2012). Setelah berhasil melakukan penetrasi, patogen akan mulai melakukan kolonisasi. Kolonisasi dilakukan dengan tiga strategi, yaitu (a) intraseluler hemibiotrofi, (b) subkutikular intramural, atau (c) kombinasi keduanya, tergantung pada spesies patogen dan inang (Bailey dkk., 1992). Kenampakan mikroskopis proses infeksi oleh *C. gloeosporioides* pada jaringan inang dapat dilihat pada Gambar 3.

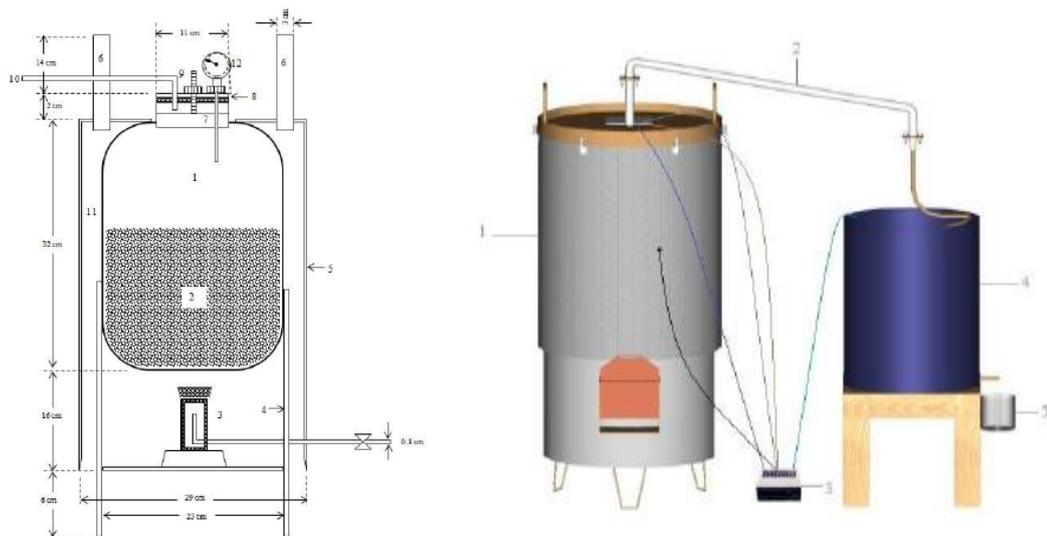


Gambar 3. Kenampakan infeksi oleh *C. gloeosporioides* di bawah *scanning electron microscope* (SEM) (Sumber: Chau dan Alvarez, 1983; Panday dkk., 2012)

Keterangan : (a) germinasi spora berseptata, (b) pembentukan *appressorium* dan *germinated tube*, (c) penetrasi pada kutikula, (d) penetrasi melalui celah stomata, (e) hifa primer intraseluler (kiri) dan hifa primer interseluler (kanan), dan (f) pertumbuhan hifa interseluler

C. gloeosporioides melakukan penetrasi secara enzimatik dan mekanis dengan membentuk pasak penetrasi, kemudian membentuk hifa subkutikular (Chau dan Alvarez, 1983). Terjadinya proses enzimatik dibuktikan dengan peningkatan densitas elektron di sekitar pasak penetrasi. Proses penetrasi oleh *C. gloeosporioides* melibatkan enzim *cutinase* (Dickman, Patil, dan Kolattukudy, 1982). Hifa akan tumbuh di bawah lapisan kutikula dan dalam dinding *periclinal* dan *anticlinal* epidermis sel (Dieguez-Uribendo dkk, 2005). Gejala lesi (perubahan abnormal pada struktur organ akibat luka mekanis atau infeksi penyakit) akan muncul ketika patogen berkembang lebih lanjut pada jaringan parenkim buah, ditandai dengan terbentuknya hifa interseluler pada pusat infeksi dan hifa intraseluler pada bagian pinggir infeksi (Chau dan Alvarez, 1983).

2.1.3 Pirolisis



Gambar 4. Alat pirolisis (Sumber: Rahmat dkk., 2014; Ridhuan dkk., 2019)

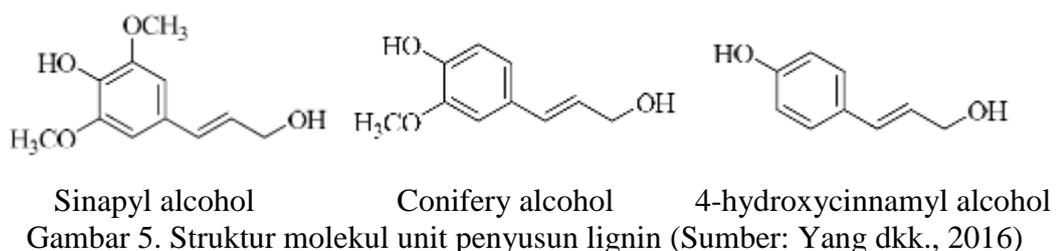
Keterangan:

- 1 = satu unit reaktor pirolisis
- 2 = satu unit silinder retor
- 3 = satu unit kondensor
- 4 = termokopel

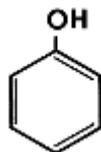
Pembakaran pirolisis merupakan suatu proses dekomposisi termokimia yang terjadi pada bahan organik (biomassa) melalui proses pemanasan dengan menggunakan sedikit atau tanpa oksigen dimana material mentah akan mengalami pemecahan struktur kimia menjadi fase gas. Proses pirolisis terjadi dalam alat yang dinamakan pirolisator. Bagian-bagian pirolisator dapat dilihat pada Gambar

4. Menurut Ridhuan, Irawan, dan Inthifawzi (2019), pembakaran pirolisis dapat menghasilkan produk utama yang berupa arang (*char*), asap cair (*bio-oil*) dan gas. Arang yang dihasilkan merupakan bahan bakar bernilai kalori yang tinggi ataupun digunakan sebagai karbon aktif. Asap cair yang dihasilkan dapat digunakan sebagai zat aditif atau bahan pengawet makanan atau produk tertentu, sedangkan gas yang terbentuk dapat dibakar secara langsung. Gas dari pirolisis dapat dibedakan menjadi gas yang tidak dapat dikondensasi (CO , CO_2 , CH_4 , dll) dan gas yang dapat dikondensasi (*tar*). Minyak akan terjadi pada proses kondensasi dari gas yang terbentuk, disebut juga asap cair.

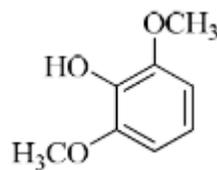
Pembakaran pirolisis menggunakan berbagai biomassa yang berasal dari beberapa jenis sumber tumbuhan. Biomassa adalah material biologis yang berasal dari suatu kehidupan, atau organisme yang masih hidup yang berstruktur karbon dan campuran kimiawi bahan organik yang mengandung hidrogen, nitrogen, oksigen, dan sejumlah kecil dari atom-atom dan elemen-elemen lainnya. Setiap biomassa memiliki karakteristik dan komposisi berbeda-beda tergantung dari jenisnya dan bentuknya. Asap cair yang berasal dari bahan baku yang berbeda akan menghasilkan komponen kimia yang berbeda (Guilén, Manzanos, dan Ibargoitia, 2001). Hal ini disebabkan oleh perbedaan kandungan lignin, selulosa, dan hemiselulosa mempengaruhi jenis senyawa yang dihasilkan pada pirolisis. Degradasi termal selulosa menghasilkan anhidroglukosa, senyawa karbonil, dan furan (Ristiani dkk., 2022). Asam asetat sebagai komponen dominan asam organik dihasilkan dari degradasi hemiselulosa. Lignin menghasilkan senyawa fenol dan derivatnya (Pamori, Efendi, dan Restuhadi, 2015). Senyawa ini dihasilkan dari pemecahan beberapa unit lignin seperti sinapyl alcohol, conifery alcohol, dan 4-hydroxycinnamyl alcohol (Gambar 5).



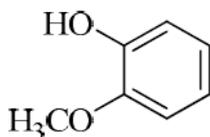
Asap cair memiliki kandungan senyawa yang kompleks dengan sebagian besar merupakan golongan fenol dan asam organik beserta derivatnya. Masih belum dapat ditentukan fungsi dan efek setiap senyawa terhadap fungsinya sebagai antibakteri dan antijamur karena efek sinergi dari setiap senyawa dapat saja terjadi (Guilén dkk., 2001). Fenol sebagai salah satu golongan senyawa yang menjadi komponen dominan dalam asap cair memberikan kontribusi utama terhadap aroma asap, serta memiliki peran sebagai antioksidan dan antimikroba (Oramahi dan Yoshimura, 2013). Berdasarkan Yang dkk. (2016), senyawa fenol dan derivatnya dalam asap cair secara umum dapat dibedakan ke dalam tiga tipe, yaitu (a) tipe *syringol*, termasuk 2,6-dimethoxyphenol, 3,5-dimethoxy-4-hydroxytoluene, dan 1-(4-hydroxy-3,5-dimethoxyphenyl)-ethanone; (b) tipe *guaiacol*, termasuk 2-methoxyphenol, 4-ethyl-2-methoxyphenol, and 1-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-2- propanone; dan (c) tipe *benzenediol*, termasuk catechol, 3-methoxy- 1,2-benzenediol, dan 4-methyl-1,2,-benzenediol. Rumus bangun molekul beberapa senyawa fenol dapat dilihat pada Gambar 6.



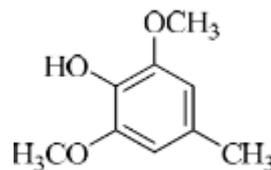
Fenol



2,6-dimethoxyphenol



2-methoxyphenol



3,5-dimethoxy-4-hydroxytoluene

Gambar 6. Komponen utama asap cair (Sumber: Yang dkk., 2016)

2.2 Kerangka berpikir

Serangan patogen merupakan salah satu faktor utama yang dapat menurunkan hasil produksi. Patogen dapat menyerang mulai dari masa perkecambahan, pertumbuhan vegetatif dan generatif, serta pada masa setelah panen. Penyakit antraknosa yang disebabkan oleh jamur patogen *Colletotrichum*

gloeosporioides mengakibatkan kerusakan hasil yang cukup besar pada produksi buah pepaya. Penyakit antraknosa sering disebut penyakit gudang karena gejala penyakit akan muncul selama masa penyimpanan buah pepaya, walaupun pada beberapa kasus gejala dapat timbul pada buah yang masih menempel pada pohon dan berwarna hijau. Penanganan pascapanen pada produk buah-buahan yang kurang tepat dapat memperbesar peluang terjadinya infeksi penyakit, salah satunya yaitu keberadaan luka mekanis (Suparman dkk., 2017). Luka mekanis dapat menjadi celah bagi patogen untuk melakukan penetrasi pada jaringan parenkim buah akibat rusaknya kutikula dan jaringan epidermis sebagai pertahanan mekanis buah.

Pengendalian terhadap patogen *C. gloeosporioides* biasanya dilakukan dengan mengaplikasikan fungisida. Namun, penggunaan fungisida kimia dapat mengancam kesehatan dan berpotensi mencemari lingkungan jika digunakan secara terus-menerus. Cara alternatif yang dapat dilakukan yaitu dengan mengaplikasikan asap cair sebagai fungisida alami yang ramah lingkungan. Asap cair merupakan salah satu produk yang dihasilkan dari proses pirolisis biomassa tumbuhan. Asap cair telah banyak digunakan dalam industri pangan sebagai bahan pengawet karena dapat menghambat pertumbuhan bakteri pada produk olahan pangan. Asap cair mengandung bahan utama asam, fenol, dan karbonil. Senyawa asam dapat menghambat terbentuknya spora dan pertumbuhan mikroba, yaitu bakteri dan fungi. Sedangkan senyawa fenolik asap cair memiliki sifat antibakteri dan antioksidan, serta menunjukkan aktivitas antimikroba yang efektif pada pengujian secara *in vitro* pada berbagai organisme seperti ragi, kapang, dan bakteri (gram positif dan gram negatif) (Suryani dkk., 2020).

Telah banyak penelitian yang dilakukan terhadap efektivitas asap cair dalam menghambat pertumbuhan organisme patogen. Penelitian yang dilakukan oleh Oramahi, Wardoyo, dan Kustiati (2018) membuktikan asap cair dari kayu bingkarai dapat menghambat pertumbuhan patogen *Phytophthora citrophthora* penyebab penyakit busuk pangkal batang jeruk pada konsentrasi 1%. Penelitian Yahayu dkk. (2017) menunjukkan asap cair dari kulit buah nanas mengandung 2,6-dimetoksi fenol dan 2-metoksi metil fenol berpengaruh positif terhadap

penghambatan jamur *Aspergillus niger* dan *Botryodiplodia thebromae*. Oramahi dkk. (2018) menyebutkan, daya hambat asap cair bergantung pada bahan baku dan komponen kimia sumber asap cair. Komponen kimia dipengaruhi oleh suhu pembakaran dan komponen proksimat penyusun bahan seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Efektivitas asap cair dalam menghambat jamur diduga disebabkan karena adanya perbedaan komponen fenol dan asam. Penelitian yang dilakukan Aisyah dkk. (2013), bahwa asap cair dari tempurung kelapa mampu menghambat pertumbuhan koloni *Colletotrichum gloeosporioides* dan *Fusarium oxysporum* dengan daya hambat masing-masing sebesar 5,59-97,85% dan 6,06-94,97% pada rentang konsentrasi 0,25-6,0%.

Cangkang kelapa muda dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan asap cair. Saat ini cangkang kelapa muda masih belum dimanfaatkan secara optimal. Cangkang kelapa muda bisa didapat dengan mudah dari penjual es kelapa muda. Cangkang tersebut biasanya dibuang ke tempat sampah atau hanya digunakan sebagai bahan baku pembakaran. Mengolah cangkang kelapa muda menjadi asap cair dapat memberikan nilai tambah sehingga dapat menjadi sumber penghasilan sekaligus mengurangi limbah yang berpotensi mencemari lingkungan.

2.3 Hipotesis

- 1) Terjadi interaksi antara perlakuan pemberian asap cair cangkang kelapa muda dengan perlakuan perlakuan pada buah pepaya Calina terhadap perkembangan patogen antraknosa (*C. gloeosporioides*) selama masa penyimpanan.
- 2) Asap cair cangkang kelapa muda efektif menghambat perkembangan patogen penyebab penyakit antraknosa (*C. gloeosporioides*) pada buah pepaya Calina selama masa penyimpanan.