

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA, KERANGKA BERPIKIR DAN HIPOTESIS

#### 2.1 Tinjauan pustaka

##### 2.1.1 Cabai merah (*Capsicum annuum* L.)

Tanaman cabai memiliki berbagai manfaat, baik untuk keperluan rumah tangga maupun kebutuhan lain, seperti bahan ramuan obat tradisional, bahan makanan dan minuman, serta keperluan industri. Cabai juga kaya akan kandungan gizi dan vitamin, termasuk protein, lemak, karbohidrat, kalsium, serta vitamin A, B1, dan C (Zahroh et al., 2018). Klasifikasi tanaman cabai menurut Lagiman & Supriyanta (2021) adalah sebagai berikut:

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Magnoliophyta
Kelas	: Magnoliopsida
Ordo	: Solanales
Famili	: Solanaceae
Genus	: Capsicum
Spesies	: <i>Capsicum annuum</i> L.

Cabai adalah tanaman yang termasuk dalam famili Solanaceae dan genus *Capsicum*, berasal dari daerah tropis dan subtropis di Amerika, terutama Kolombia. Salah satu spesiesnya, *Capsicum annuum* L., merupakan spesies yang paling banyak dibudidayakan dan memiliki nilai ekonomi tinggi. Spesies ini diyakini berasal dari Meksiko dengan penyebaran sekunder di Guatemala. Tanaman cabai telah dimanfaatkan oleh masyarakat Indian sejak lama dan mulai tersebar ke berbagai wilayah dunia setelah penjelajahan Christopher Columbus pada tahun 1492. Melalui peran pedagang Spanyol dan Portugis, cabai menyebar ke kawasan tropis dan subtropis lainnya, termasuk Asia. *Capsicum annuum* memiliki beberapa jenis varietas, seperti *longum*, *abbreviata*, *grossum*, dan *minimum* (Syukur et al., 2016).

Cabai merah memiliki adaptasi luas dan dapat tumbuh di dataran rendah hingga tinggi hingga 1.400 meter di atas permukaan laut. Curah hujan ideal untuk pertumbuhannya adalah 600-1.200 mm per tahun, dan cahaya matahari sangat

diperlukan dari masa bibit hingga produksi. Intensitas cahaya tinggi mempercepat pembungaan dan pematangan buah. Suhu harian optimal adalah 24°C hingga 32°C. Jenis tanah terbaik untuk cabai merah adalah tanah lempung berdebu dengan kapasitas menahan air yang baik dan drainase yang memadai. Tanah dengan pH 5,5-6,8 sangat cocok untuk mendukung pertumbuhan optimal tanaman ini (Rizky Amalia & Ziaulhaq, 2022).

Cabai merupakan tanaman perdu yang berumur semusim dengan sistem perakaran tunggang. Akar cabai menyebar dengan panjang sekitar 25-35 cm dan berperan dalam menyerap air serta nutrisi dari tanah, sekaligus mendukung berdirinya batang tanaman (Harpenas & Dermawan, 2010).

Tanaman cabai merupakan tanaman semusim yang bercabang kuat dan semi-kayu, dengan tinggi mencapai 65 cm atau lebih. Daunnya berbentuk ovate sederhana dengan ujung runcing dan pangkal tumpul, panjang hingga 19 cm, dan lebar 4 cm. Tangkai daun panjangnya 0,2 cm, sedangkan batangnya tidak berbulu dan berbentuk sudut. Bunga tumbuh tunggal di nodus, dengan diameter hingga 0,4 cm. Kelopaknya berjumlah 5, berwarna putih pucat, dengan panjang hingga 0,5 cm dan lebar 0,3 cm. Kelopak hijau berjumlah 5 atau 6, dengan panjang 0,2 cm dan lebar 0,1 cm. Benang sarinya berjumlah 5 atau 6, dengan panjang 0,3 cm. Buah berbiji banyak, tumbuh tunggal di nodus, berbentuk bulat, hijau saat mentah dan berubah menjadi merah, oranye, kuning, coklat, atau ungu saat matang, dengan diameter 1 hingga 2,5 cm. Bijinya berdiameter 0,2 hingga 0,3 cm (Wahua et al., 2013).

Budidaya cabai seringkali mendapatkan hambatan dari Organisme Pengganggu Tanaman (OPT) seperti penyakit, hama, dan gulma. OPT yang merugikan tanaman cabai antara lain hama lalat buah, thrips, tungau teh kuning, kutu daun persik, kutu daun kapas, ulat bulu, gangsir, jangkrik mol, ulat kawat, penambang daun, dan wereng kapas, serta penyakit yang disebabkan oleh bakteri, jamur, dan nematoda. Penyakit yang disebabkan oleh bakteri yaitu layu bakteri *rals-tonia*, bercak bakteri, dan busuk bakteri *Erwinia*, sedangkan penyakit yang disebabkan oleh jamur, adalah busuk buah antraknosa dan bercak daun (Pusat Perpustakaan dan Penyebaran Teknologi Pertanian, 2021).



Gambar 1. Tanaman cabai merah  
(Sumber: Dinas Ketahanan Pangan dan Pertanian Ngawi, 2023)

### 2.1.2 Penyakit antraknosa

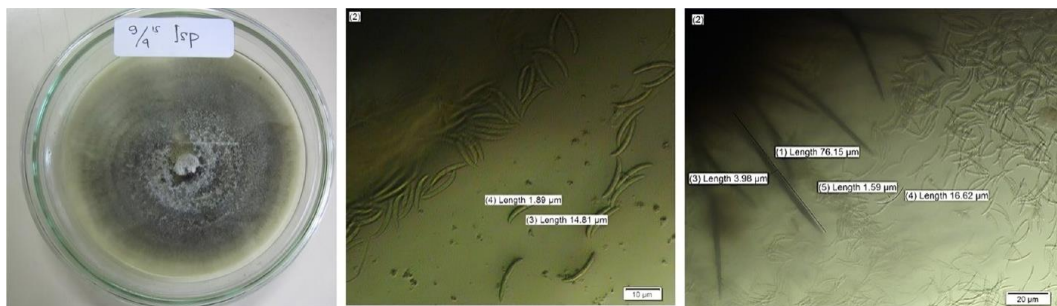
Penyakit antraknosa pada cabai merupakan penyakit yang paling umum dan selalu terjadi di areal pertanaman cabai. Penyakit antraknosa selain mengakibatkan penurunan hasil panen juga merusak nilai estetika cabai. Penurunan hasil panen akibat penyakit antraknosa pada cabai dapat mencapai 50% atau lebih (Semangun, 2007). Penyakit ini disebabkan oleh jamur dari genus *Colletotrichum*. Komoditas yang rentan terinfeksi meliputi cabai, paprika, pepaya, buncis, dan lainnya. Pada tanaman cabai, spesies yang sering ditemukan adalah *C. capsici* dan *C. gloeosporioides* (Lesta, 2024).

Gejala awal antraknosa adalah lekukan, yang diikuti oleh bercak-bercak abu-abu gelap hingga hitam. Ada titik-titik kecil kehitaman di tengah gejala. Buah mengerut, mengering, dan membusuk akibat serangan tambahan. Ada batas cokelat di sekitar bercak. Gejala antraknosa pada cabai dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini. (Mariana et al., 2021).



Gambar 2. Gejala penyakit antraknosa  
(Sumber: Marsuni, 2020)

Hasil identifikasi yang dilakukan oleh Sari & Li'aini (2020) menunjukkan bahwa koloni jamur *Colletotrichum capsici* awalnya memiliki miselium berwarna putih. Seiring waktu, koloni berubah menjadi abu-abu kehitaman dengan pola lingkaran konsentris yang lebih gelap. Hifa jamur ini bersekat dan dilengkapi banyak setae runcing berukuran panjang 76,15  $\mu\text{m}$  dan lebar 3,98  $\mu\text{m}$ , serta menghasilkan konidia berbentuk bulat hingga memanjang. Pengamatan menggunakan mikroskop menunjukkan bahwa konidia *C. capsici* berbentuk bulat sabit tanpa sekat, dengan ukuran panjang 14,81–16,62  $\mu\text{m}$  dan lebar 1,59–1,89  $\mu\text{m}$ . Makroskopis dan mikroskopis jamur dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Biakan murni dan pengamatan mikroskopis *Colletotrichum capsici* (Sumber: Sari & Li'aini, 2020)

Menurut klasifikasi oleh Alexopoulos et al. (1996), jamur *Colletotrichum* sp. termasuk dalam filum Ascomycota, kelas Ascomycetes, ordo Melanconiales, famili *Melanconiaceae*, dan genus *Colletotrichum*. Jamur ini menghasilkan konidia yang lengket, memungkinkan penyebaran ke tanaman lain melalui percikan air. Selain itu, jamur ini juga dapat menular melalui benih. Infeksinya bersifat laten, sehingga sulit terdeteksi pada tahap awal. Penggunaan pestisida yang kurang tepat akan mempercepat penyebaran penyakit ini ke tanaman sehat lainnya (Lesta, 2024).

### 2.1.3 Pestisida nabati

Pestisida nabati adalah pestisida berbahan aktif yang berasal dari tumbuh-tumbuhan dan digunakan untuk mengendalikan serangan hama serta penyakit pada tanaman. Pestisida ini memiliki keunggulan karena residunya mudah terurai (*biodegradable*), tidak mencemari lingkungan, dan relatif aman bagi manusia serta

hewan ternak. Selain itu, pestisida nabati dapat dibuat dengan mudah menggunakan bahan murah dan peralatan sederhana (Kusumawati & Istiqomah, 2022).

Pestisida nabati efektif menekan populasi hama dengan mengganggu sistem saraf atau fisiologinya, serta mengendalikan penyakit tanaman melalui senyawa antimikroba yang melawan bakteri dan jamur. Keamanan pestisida nabati bagi manusia dan lingkungan menjadi salah satu nilai tambahnya, karena memiliki toksisitas yang lebih rendah dibandingkan dengan pestisida sintetis serta dampaknya terhadap organisme non-target dan lingkungan lebih minimal. Pestisida nabati mendukung keberlanjutan pertanian melalui pengurangan penggunaan pestisida sintetis, menjaga keseimbangan ekosistem, keberlanjutan tanah, dan kesehatan manusia (Siregar, 2023).

Tumbuhan yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan pestisida nabati harus memenuhi kriteria seperti tidak toksik pada OPT non-target, memiliki biotoksin efisien, mudah diperbanyak, tidak bersaing dengan tanaman budidaya, multiguna, sederhana dalam teknologi, serta bahan bakunya mudah diperoleh dan dapat digunakan dalam keadaan segar atau kering. Ada enam kategori tumbuhan yang dapat digunakan sebagai pestisida nabati, yaitu kategori insektisida (bengkoang, sirsak), fungisida (serai, pinang, daun sirih), atraktan (daun kemangi), moluskisida (daun sembung), rodentisida (gadung), dan serbaguna (nimba, tembakau) (Sudarmo & Mulyaningsih, 2014).

Meskipun memiliki banyak keuntungan, produksi biopestisida secara massal menghadapi berbagai kendala. Beberapa di antaranya adalah tingginya biaya produk komersial yang telah disempurnakan, ketidakmampuan untuk memenuhi permintaan pasar global, perbedaan metode standar dalam persiapan dan pedoman, serta penentuan dosis bahan aktif. Selain itu, biopestisida juga rentan terhadap berbagai faktor lingkungan, memiliki stabilitas yang sementara, dan menunjukkan reaksi yang lambat. Sementara menunggu batasan-batasan ini diatasi melalui terobosan penelitian dalam beberapa tahun ke depan, petani, terutama di daerah pedesaan, dapat memanfaatkan ekstrak tanaman kasar untuk melindungi tanaman dan meningkatkan hasil (Fenibo et al., 2021).

#### 2.1.4 Serai dapur (*Cymbopogon citratus*)

*Cymbopogon*, atau yang lebih dikenal sebagai serai, adalah genus tanaman yang berasal dari Asia, Afrika, Australia, dan pulau-pulau tropis dalam keluarga rumput. Beberapa spesiesnya sering dibudidayakan sebagai herba kuliner dan obat karena aromanya yang mirip dengan lemon. Nama umum tanaman ini meliputi lemongrass, barbed wire grass, silky heads, citronella grass, cha de Dartigalongue, fever grass, tanglad, serai, hierba Luisa, atau gavati chahapati (Toungos, 2019). Klasifikasi tanaman serai menurut Oladeji et al. (2019), yaitu:

Kingdom : Plantae  
 Divisi : Magnoliophyta  
 Kelas : Liliopsida  
 Ordo : Poales  
 Famili : Poaceae  
 Genus : *Cymbopogon*  
 Species : *Cymbopogon citratus*



Gambar 4. Tanaman serai dapur  
 (Sumber: National Parks: Flora & Fauna Web, 2025)

Berdasarkan penelitian Madi et al. (2022), tanaman serai memiliki morfologi sebagai berikut.

a. Akar

Akar serai sangat halus, berbentuk silindris, berwarna kuning kecokelatan, glabrous, dan memiliki panjang sekitar 5,5–20 cm dengan diameter 0,1–0,3 cm.

Tumbuh vertikal dengan permukaan kasar, akar serabut yang sangat tipis, dan memiliki aroma serta rasa khas.

b. Batang

Batangnya berbentuk silindris dengan nodus kasar berwarna kuning kecokelatan dan internodus halus berwarna kuning pucat. Batanganya solid, menunjukkan tetesan minyak jika digores dengan aroma lemon serta sedikit pahit setelah rasa citrus, dan memiliki panjang sekitar 3,5–19 cm dan lebar 0,7–1 cm.

c. Daun

Daun serai terdiri atas helai, pelepah, dan ligula. Helaian sederhana, linear, berwarna hijau, panjang 30–76 cm, lebar 0,9–1,5 cm, dengan ujung akuminat, tepi scabrous, vena sejajar, dan permukaan glabrous yang mengeluarkan minyak bila digores. Permukaan adaksial lebih gelap dibanding abaksial; tulang daun tengah jelas terlihat pada sisi abaksial. Pelepah silindris, melingkari batang, panjang 22–30 cm, lebar 3–5 cm, berwarna hijau kekuningan pada sisi adaksial dan hijau keunguan pada abaksial. Ligula hijau keunguan, halus, glabrous, panjang 1–2 mm. Daun beraroma lemon dengan rasa citrus sedikit pahit.

d. Rimpang

Rimpangnya pendek, solid, berbentuk silindris dengan ujung yang meruncing dan muncul banyak akar. Permukaannya kasar, berwarna kuning dengan sisik kecokelatan, panjang sekitar 3,3–4,5 cm dan lebar 0,7–1,2 cm. Memiliki aroma lemon dan rasa yang diikuti sedikit pahit.

Seluruh bagian tanaman serai, mulai dari daun, batang, hingga akar, dapat dimanfaatkan sebagai bahan pestisida nabati untuk mengendalikan organisme pengganggu tanaman (OPT) (Surahmaida, 2019). *Cymbopogon citratus* mengandung banyak fitokonstituen, seperti flavonoid, alkaloid, tanin, dan senyawa fenolik, serta terpenoid. Analisis GC-MS menunjukkan bahwa komponen utama serai adalah citral (42,27%) dan caren (15,07%) (Al Naqqash et al., 2019). Flavonoid dan tanin pada serai berperan dalam aktivitas antimikroba (Nyamath & Karthikeyan, 2018).

Tabel 1. Hasil Uji Penapisan Fitokimia Simplisia dan Ekstrak Etanol Akar, Batang, dan Daun Serai Dapur

Golongan	Bahan					
	Simplisia			Ekstrak Etanol		
	Daun	Batang	Akar	Daun	Batang	Akar
Alkaloid	+	+	+	+	+	+
Flavonoid	+	+	+	+	+	+
Saponin	+	-	+	-	-	-
Tanin	+	+	-	+	+	+
Kuinon	+	+	-	+	+	+
Terpenoid	+	+	+	+	+	+

Sumber: Verawati et al. (2013)

Keterangan: + = positif terhadap reagen uji  
- = negatif terhadap reagen uji

### 2.1.5 *Molecular docking*

Konsep dasar *docking* berasal dari teori "*lock and key*" dalam desain obat rasional, tetapi algoritma yang digunakan untuk memasukkan "kunci" (*ligand*) ke dalam "gembok" (protein reseptor) bervariasi antar program. Meskipun bervariasi, algoritma dalam setiap program *docking* harus mencapai keseimbangan antara kecepatan dan akurasi. Algoritma *docking* juga berbeda berdasarkan fungsi penilaian (*scoring function*) yang digunakan. Afinitas pengikatan (*binding affinity*) biasanya menjadi prioritas dalam evaluasi kandidat terbaik untuk *virtual screening* (Chen, 2015).

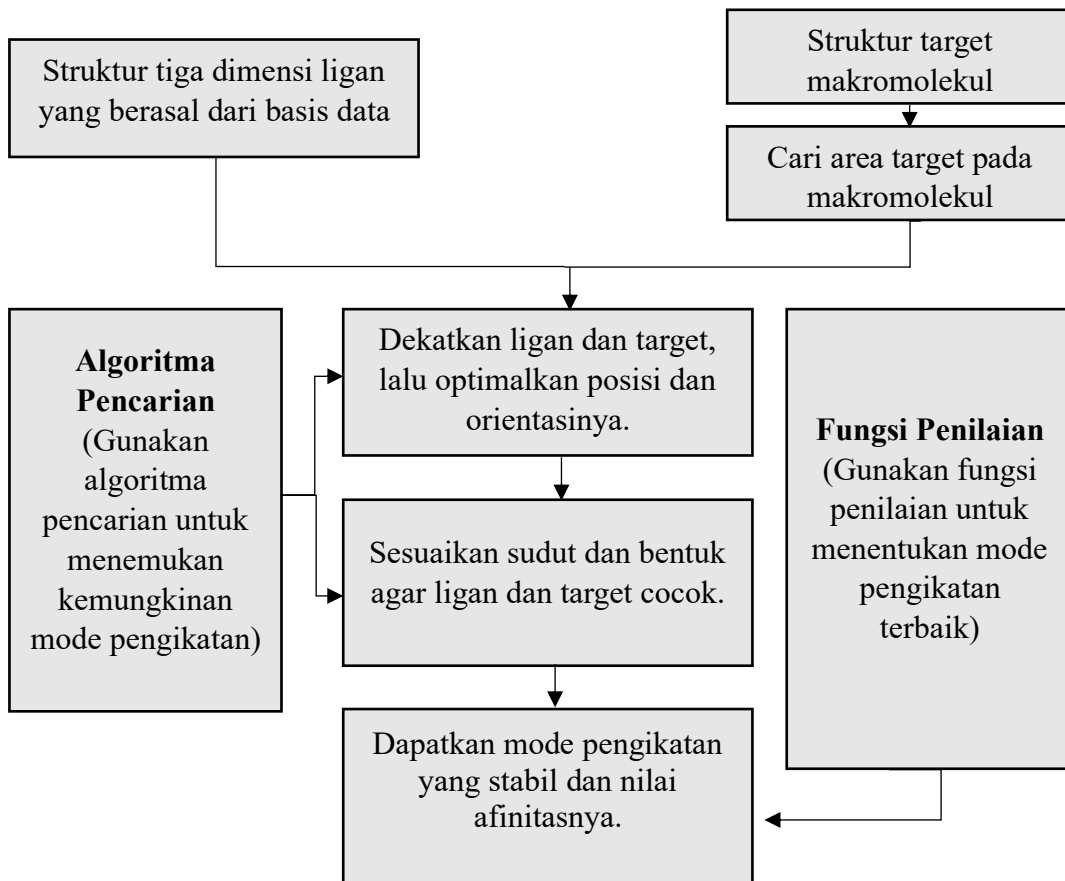
*Molecular docking* adalah teknik berbiaya rendah, aman, dan mudah digunakan yang membantu menyelidiki, menafsirkan, menjelaskan, serta menemukan karakteristik molekul melalui struktur tiga dimensi. *Docking* digunakan untuk memprediksi interaksi struktural antara dua atau lebih molekul kimia. Sebagian besar penelitian *docking* berfokus pada interaksi ligan fleksibel dan reseptor fisiologis (Raval & Ganatra, 2022).

*Molecular docking* adalah alat penting dalam biologi molekuler struktural dan desain obat dengan bantuan komputer. Tujuan docking ligan-protein adalah memprediksi mode pengikatan utama ligan pada protein yang struktur tiga dimensinya telah diketahui. *Docking* dapat digunakan untuk melakukan skrining virtual pada senyawa yang besar, memberikan penilaian seperti afinitas pengikatan,



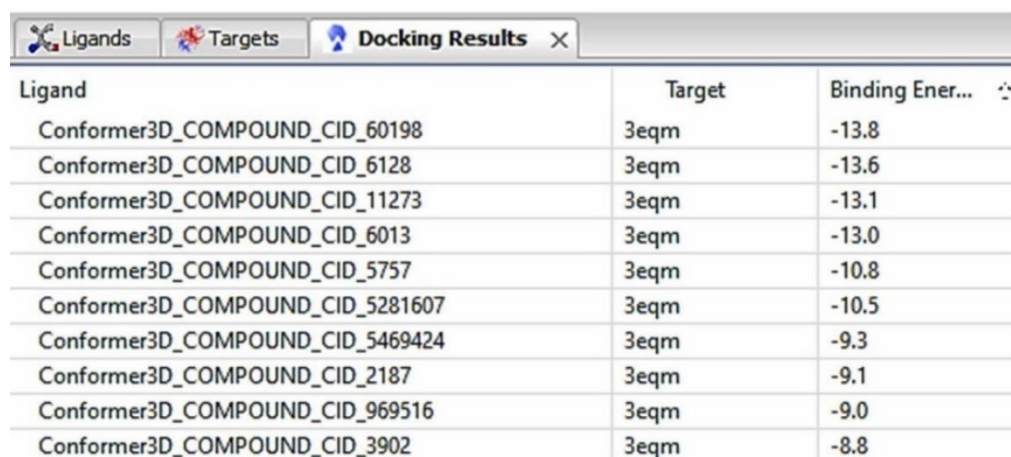
dan mengusulkan hipotesis struktural mengenai cara kerja ligan dalam menghambat target, yang sangat berguna untuk optimasi senyawa awal (Morris & Lim-Wilby, 2008).

Dalam *molecular docking*, dua komponen utama yang berinteraksi adalah reseptor dan ligan. Reseptor biasanya merupakan protein target (seperti enzim atau reseptor seluler) yang memiliki situs aktif tempat ligan akan berinteraksi. Ligan merupakan molekul kecil, baik senyawa alami maupun sintetik, yang berpotensi untuk berikatan dengan reseptor dan mempengaruhi fungsinya (Benatar, 2025). CDC42 merupakan salah satu contoh protein target yang digunakan dalam penelitian ini. Protein ini termasuk dalam kelompok protein kecil pengikat GTP (Guanosine Triphosphate) yang berperan penting dalam mengatur morfogenesis serta perkembangan patogen pada jamur (Chen et al., 2006). Adapun skema proses *molecular docking* dapat dilihat pada Gambar 4 di bawah ini.



Gambar 5. Proses *molecular docking*  
(Sumber: Fan et al., 2019)

Penggunaan *docking* dalam bidang kesehatan telah terbukti dapat membantu pengembangan suatu obat. Penelitian yang dilakukan oleh Sampangi-Ramaiah et al. (2020) menunjukkan bahwa terdapat 15 senyawa efektif berikatan dengan protease virus COVID-19 dan kemungkinan dapat menghambat replikasi virus. Selain senyawa umum seperti kurkumin dan koriandrin yang hampir setiap hari digunakan dalam masakan, senyawa yang ditemukan dalam kulit apel (asam ursolat), sayuran labu-labuan (hederagenin), minyak zaitun (asam oleanolat), rosemary dan tanaman keluarga mint (sageone), cabai merah (apigenin), dan akar manis (glabridin), merupakan beberapa kandidat senyawa yang layak untuk diteliti lebih lanjut. Contoh hasil *docking* dapat diamati pada Gambar 5 di bawah ini.

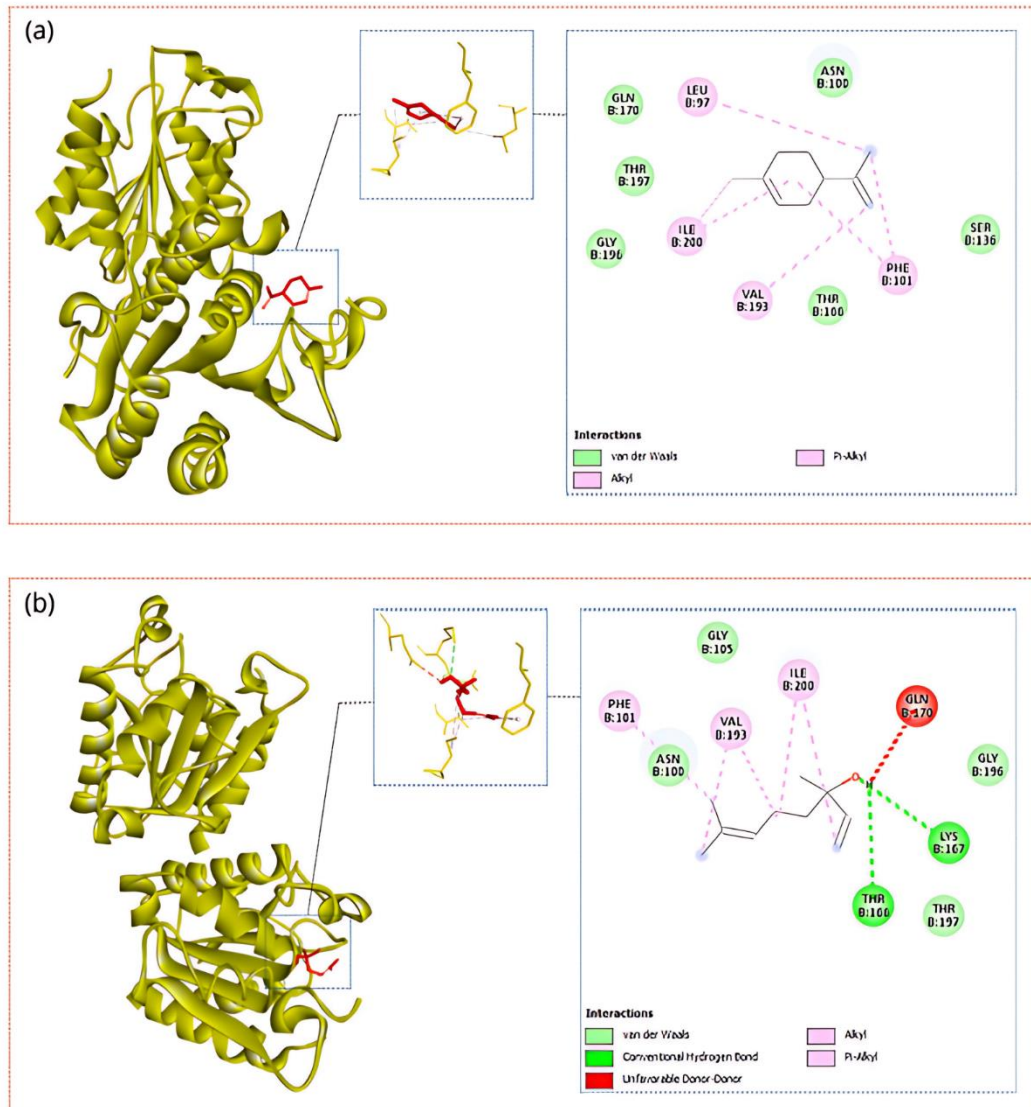


Ligand	Target	Binding Ener...
Conformer3D_COMPOUND_CID_60198	3eqm	-13.8
Conformer3D_COMPOUND_CID_6128	3eqm	-13.6
Conformer3D_COMPOUND_CID_11273	3eqm	-13.1
Conformer3D_COMPOUND_CID_6013	3eqm	-13.0
Conformer3D_COMPOUND_CID_5757	3eqm	-10.8
Conformer3D_COMPOUND_CID_5281607	3eqm	-10.5
Conformer3D_COMPOUND_CID_5469424	3eqm	-9.3
Conformer3D_COMPOUND_CID_2187	3eqm	-9.1
Conformer3D_COMPOUND_CID_969516	3eqm	-9.0
Conformer3D_COMPOUND_CID_3902	3eqm	-8.8

Gambar 6. Tangkapan layar hasil *docking* yang dihasilkan oleh Pyrx  
(Sumber: Larbaoui & Menad, 2024)

Dalam bidang pertanian, aplikasi *docking* dapat mendukung keamanan pangan melalui pemodelan biopestisida yang lebih akurat. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa metode ini mampu meningkatkan potensi pengembangan pertanian organik, karena efektivitas penggunaan bahan baku alami sebagai biopestisida didukung oleh nilai  $K_i$  hasil aplikasi *docking* tersebut. Nilai  $K_i$  adalah nilai yang menunjukkan kekuatan interaksi antara ligan dan makromolekul. Hal ini dapat dilihat dari nilai  $K_i$  yang diperoleh dari hasil docking, di mana jika nilai  $K_i$  semakin kecil, maka interaksi yang terjadi antara ligan dan makromolekul semakin kuat dan hanya memerlukan inhibitor dalam jumlah kecil. Selain itu, nilai toksisitas juga dapat diketahui sebagai bahan pertimbangan oleh para petani dalam

menggunakan bahan yang ramah lingkungan (Kholila et al., 2019). Visualisasi interaksi antara ligan dan reseptor dapat dilihat pada Gambar 6 di bawah ini.



Gambar 7. Interaksi *docking* antara protein cutinase *Colletotrichum gloeosporioides* (a-b, kuning) dengan limonene (a, merah) dan  $\beta$ -linalool (b, merah).

(Sumber: Benatar et al., 2024)

## 2.2 Kerangka berpikir

Pengendalian antraknosa pada tanaman cabai umumnya dilakukan dengan aplikasi fungisida kimiawi, salah satunya yang fungisida berbahan aktif propineb. Namun, hasil penelitian Mariana, et al. (2021) menunjukkan bahwa isolat

*Colletotrichum* spp. dari beberapa lokasi, mulai menunjukkan ketahanan terhadap propineb, dengan tingkat hambatan relatif hanya 53,12%. Hal ini menunjukkan adanya resistensi pada patogen tersebut sehingga perlu adanya alternatif lain untuk mengurangi risiko resistensi patogen, salah satunya dengan penggunaan pestisida nabati.

Salah satu bahan alami yang memiliki potensi sebagai pestisida nabati adalah serai dapur (*Cymbopogon citratus*). Serai dapur diketahui mengandung senyawa-senyawa antijamur seperti flavonoid, alkaloid, tanin, dan senyawa fenolik, serta terpenoid yang dapat menghambat patogen penyebab antraknosa pada cabai merah. Menurut Nugraheni et al. (2017), flavonoid bekerja dalam menghambat pertumbuhan jamur dengan mengganggu proses sintesis protein pada dinding sel mikroba. Selain itu, flavonoid juga berperan dalam proses denaturasi protein, yang menyebabkan peningkatan permeabilitas membran sel hingga akhirnya mengakibatkan kerusakan dan kematian sel jamur (Nuryanti et al., 2017).

Alkaloid memiliki fungsi antijamur dengan mengganggu keseimbangan genetik pada rantai DNA, yang memicu lisis sel dan merusak membran sel jamur (Nuryanti et al., 2017). Senyawa fenol bekerja melalui gugus hidroksilnya yang berinteraksi dengan gugus sulfhidril pada protein jamur. Interaksi ini dapat mengubah konformasi protein pada membran sel jamur, sehingga menghambat pertumbuhan sel jamur dan bahkan dapat menyebabkan kematian sel tersebut (Yanti et al., 2016).

Terpenoid bekerja dengan cara bereaksi pada pori-pori membran luar dinding sel, membentuk ikatan polimer yang kuat, sehingga mengurangi permeabilitas dinding sel (Wulansari et al., 2020). Tanin memiliki mekanisme kerja sebagai antijamur dengan menghambat biosintesis ergosterol, yaitu sterol utama yang membentuk membran sel jamur. Ergosterol berperan sebagai struktur dan komponen pengatur pada membran sel eukariotik (Arifin et al., 2018).

Melalui berbagai mekanisme yang telah dipaparkan di atas, senyawa seperti flavonoid, alkaloid, fenol, terpenoid, dan tanin menunjukkan potensi sebagai agen antijamur. Namun, untuk memastikan efektivitasnya secara spesifik terhadap *Colletotrichum* sp., diperlukan pendekatan yang lebih mendalam. Oleh karena itu,

uji *in silico* menjadi langkah awal yang penting untuk menganalisis interaksi senyawa aktif tersebut dengan protein target pada *Colletotrichum* sp. untuk memberikan dasar ilmiah dalam pengembangan strategi pengendalian yang lebih efektif.

Pendekatan *in silico* melalui *molecular docking* digunakan untuk mempelajari bagaimana senyawa tertentu dapat berinteraksi dengan protein target pada jamur. Teknik ini membantu kita memahami seberapa kuat senyawa tersebut dapat menghambat pertumbuhan jamur. Penelitian oleh Omar et al. (2021) menunjukkan bahwa senyawa aktif dalam minyak esensial *Thymus vulgaris*, seperti karvakrol,  $\alpha$ -thujene, dan timol, memiliki afinitas yang baik terhadap sebelas protein patogen pada *Fusarium oxysporum*. Selain itu, asam heksadekenoat, asam palmitat, tetratetrakontana, dan stigmast-5-en-3-ol (3 $\alpha$ ,24S) terbukti berinteraksi dengan protein FMK1, SET7, SEG1, dan Rho1, yang berperan dalam patogenesis jamur tersebut. Secara khusus, ekstrak kloroform dari daun *Olea europaea* diidentifikasi sebagai sumber potensial senyawa antifungal untuk pengendalian *F. oxysporum*.

Hasil temuan Magdalene (2024) menunjukkan bahwa senyawa Dodecanoic acid-1,2,3-propane yang terdapat pada ekstrak serai dapur memiliki kemampuan pengikatan yang sangat baik terhadap protein target onychomycosis, yaitu -9.71 dibandingkan senyawa kontrol (Terbinafine), yang biasa digunakan sebagai antijamur, yaitu sebesar -6.222. Artinya, senyawa tersebut memiliki kemampuan untuk berinteraksi dengan protein target secara kuat dan stabil, yang diukur melalui nilai energi pengikatan (*binding energy* atau *docking score*). Semakin rendah nilai energi pengikatan (lebih negatif), semakin kuat dan stabil interaksi antara senyawa dan protein target.

Prediksi yang diperoleh melalui pendekatan *in silico* divalidasi melalui uji *in vitro* untuk memastikan aktivitas biologis senyawa dalam kondisi nyata. Uji *in vitro* dilakukan dengan mengevaluasi efektivitas senyawa dalam menghambat pertumbuhan *Colletotrichum* sp. secara langsung di laboratorium melalui uji daya hambat. Penelitian Nyamath & Karthikeyan (2018) menyatakan bahwa ekstrak serai dapur menunjukkan zona inhibisi tertinggi terhadap *Colletotrichum musae*, yaitu mencapai 9,80 mm pada konsentrasi 1000 ppm.

Mattos et al. (2019) juga menemukan CAE (*crude aqueous extract*) dari *Cymbopogon citratus* menunjukkan kemampuan menghambat pertumbuhan miselium beberapa patogen secara signifikan. Pada *Colletotrichum gloeosporioides*, CAE *C. citratus* menghambat hingga 39,06% dibandingkan kontrol. Hasil ini menunjukkan potensi antifungi *C. citratus* yang kuat, menjadikannya bahan alami yang menarik untuk pengendalian hayati patogen penyebab antraknosa pada cabai.

Penelitian lain menunjukkan adanya aktivitas penghambatan miselium *C. gloeosporioides* hingga 77% pada saat dilakukan uji *in vitro* dengan ekstrak etanol dan metanol dari *C. citratus* pada konsentrasi 8%. Dari temuan tersebut, efek yang ditimbulkan dari ekstrak serai dapur bergantung pada konsentrasi pada dosis yang diberikan. Semakin tinggi konsentrasi ekstrak, semakin tinggi pula inhibisi pertumbuhan miselium patogen tanaman (Santos et al., 2019).

Berdasarkan uraian diatas, ekstrak serai dapur memiliki potensi sebagai biopestisida yang efektif untuk menekan perkembangan penyakit antraknosa pada cabai tanpa membahayakan lingkungan. Pendekatan ini diharapkan mampu mengurangi ketergantungan pada fungisida sintesis, serta mendukung praktik pertanian yang lebih berkelanjutan dan aman bagi ekosistem.

### 2.3 Hipotesis

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

- 1) Konsentrasi ekstrak kasar serai dapur (*Cymbopogon citratus*) berpotensi dalam menghambat pertumbuhan *Colletotrichum* sp. penyebab antraknosa pada cabai merah secara *in vitro*.
- 2) Diketahui konsentrasi ekstrak kasar serai dapur (*Cymbopogon citratus*) yang paling baik dalam menghambat pertumbuhan *Colletotrichum* sp. penyebab antraknosa pada cabai merah.
- 3) Diketahui pola interaksi dan nilai *scoring* penambahan senyawa aktif dalam ekstrak serai dapur terhadap protein target *Colletotrichum* sp.