

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA, KERANGKA BERPIKIR DAN HIPOTESIS

2.1. Tinjauan pustaka

2.1.1. Cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.)

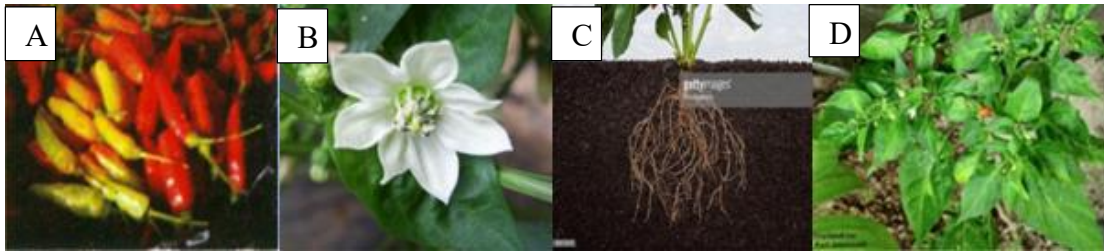
Tanaman cabai rawit merupakan tanaman perdu dari famili terong-terongan (*Solanaceae*) yang berasal dari benua Amerika tepatnya dari daerah Peru dan menyebar ke negara-negara benua Ameika, Eropa dan Asia termasuk negara Indonesia (Rosdiana, Assad dan Mantau, 2011). Cabai rawit merupakan salah satu komoditi rempah-rempahan yang paling banyak ditanam di Indonesia. Peminatnya yang cenderung tinggi membuat para petani banyak membudidayakannya. Klasifikasi tanaman cabai rawit menurut (Simpson, 2019) adalah sebagai berikut:

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

Tanaman cabai rawit memiliki sistem perakaran yang terdiri dari akar tunggang dan serabut yang menyebar ke samping, sehingga lebih cocok tumbuh di tanah yang gembur. Akar tanaman ini memiliki panjang sekitar 25 sampai 35 cm dan berfungsi menyerap air serta zat hara dari tanah. Selain itu, akar tunggang yang tumbuh tegak lurus ke dalam tanah hingga kedalaman kurang lebih 200 cm berperan sebagai penopang utama batang tanaman (Prajnanta, 2011).

Batang cabai rawit bersifat berkayu, berbentuk bulat, dan memiliki banyak cabang. Saat masih produktif, batangnya berwarna hijau gelap dan berubah menjadi cokelat ketika tua. Tinggi maksimal tanaman ini mencapai 80 cm, sementara panjang batangnya sekitar 20 cm dengan diameter 1,5 sampai 3 cm (Mitra Agro Sejati, 2015). Daun cabai rawit berbentuk lonjong hingga oval dengan ujung meruncing serta memiliki permukaan atas berwarna hijau tua dan bawah hijau muda. Daun ini termasuk

daun tunggal dengan panjang sekitar 3 sampai 4 cm dan lebar 1 sampai 2 cm (Herpanas dan Dermawan, 2015).



Gambar 1 Tanaman Cabai Rawit
(Sumber : Irawan, 2021)
Keterangan : (A) Buah (B) Bunga (C) Akar (D) Daun

Bunga cabai rawit berbentuk menyerupai terompet kecil dengan warna putih atau ungu serta bersifat hermaprodit. Buahnya berbentuk tanduk dan berwarna hijau, putih, atau kuning saat masih muda, lalu berubah merah saat matang akibat akumulasi pigmen karotenoid (Rahmadini, Julianti dan Lubis, 2020). Tanaman ini tumbuh optimal pada suhu 22 sampai 30°C dengan curah hujan 1.500 sampai 2.500 mm/tahun. Kelembapan yang ideal sekitar 80%, sementara suhu yang terlalu dingin dapat menghambat pertumbuhan bunga dan buah (Widiyastuti, 2015).

Tanaman cabai rawit umumnya hidup pada tanah yang subur, gembur, kaya akan organik, tidak mudah becek (menggenang), bebas cacing (negatif) dan penyakit tular tanah. pH tanah yang ideal berkisar antara 5,5 sampai 6,8 karena pH dibawah 5,5 atau diatas 6,8 hanya akan menghasilkan produksi yang sedikit (rendah), tanah-tanah yang becek sering menyebabkan gugur daun dan juga tanaman cabai mudah terserang penyakit layu. Tingkat keasaman yang rendah (dibawah 5,5) akan mengakibatkan pertumbuhan penyakit pada tanaman seperti adanya cendawan seperti *Fusarium sp* (Prajnanta, 2011).

2.1.2. Cendawan *Fusarium sp*.

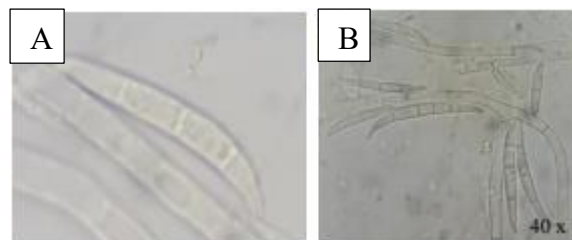
Cendwan *Fusarium sp*. merupakan patogen tular tanah yang menyebabkan infeksi pada tanaman melalui akar. *Fusarium* merupakan genus yang kompleks dan tersebar di seluruh dunia, dapat menyebabkan penyakit pada tanaman, hewan, hingga manusia. Cendawan ini memiliki kemampuan untuk tumbuh pada berbagai substrat

dan memiliki mekanisme penyebaran yang luas. Banyak spesies dari cendawan ini yang bersifat saprofit yang umum ditemukan di tanah, menjajah akar dan batang tanaman hingga sakit, serta memiliki kemampuan tumbuh yang cepat (Martyn, 2014).

Klasifikasi cendawan *Fusarium* (Soesanto, 2019) adalah sebagai berikut:

Kingdom	: Fungi
Filum	: Ascomycota
Kelas	: Sordariomycetes
Subkelas	: Hypocreomycetidae
Ordo	: Hypocreales
Genus	: <i>Fusarium</i>
Spesies	: <i>Fusarium sp.</i>

Ciri khas *Fusarium* ditentukan oleh morfologi konidia, seperti ukuran dan bentuk makrokonidia, keberadaan atau ketiadaan mikrokonidia dan kladospora, warna koloni, serta struktur konidiofor. Fitur makroskopik dan mikroskopik, seperti warna koloni, panjang dan bentuk makrokonidia, jumlah, bentuk, dan susunan mikrokonidia, serta keberadaan atau ketiadaan kladospora, menjadi kunci dalam membedakan spesies *Fusarium* (Bahadur, 2022).



Gambar 2 Konidia *Fusarium sp.*
(Sumber : Hanif dan Zamriyetti, 2023)
Keterangan : (A) Makrokonidia (B) Hifa

Gejala awal penyakit layu fusarium ditandai dengan kekuningan pada daun, kelayuan ringan di siang hari, dan pertumbuhan kerdil. Penyakit layu dimulai dengan pembersihan vena pada daun muda dan pelayuan pada daun tua bagian bawah, diikuti dengan kerdil, kekuningan pada daun bawah, gugurnya daun, nekrosis tepi, dan akhirnya kematian tanaman. Patogen tanaman yang ditularkan melalui benih dan tanah ini menunjukkan gejala seperti klorosis, nekrosis, gugurnya daun muda, penggelapan

sistem pembuluh, dan akhirnya kelayuan. Penyakit layu *Fusarium* lebih parah dalam kondisi hangat dan basah. *Fusarium* menginfeksi melalui luka yang dibuat oleh nematoda yang berasosiasi dengan akar (Shaheen, *et al.* 2021).

Penyakit layu *fusarium* dapat tersebar di semua daerah dengan beragam kisaran suhu dengan kelembapan tanah yang tinggi dan pH rendah. Suhu optimum untuk pertumbuhan cendawan adalah 27 sampai 31°C, yang kemungkinan tergantung pada asal geografi isolat, dan tumbuh baik juga pada suhu 37°C. Minimum potensi air untuk pertumbuhannya setara dengan kelembapan udara sekitar 90 sampai 95%. Pembentukan makrokonidium di laboratorium terjadi ketika ditumbuhkan di bawah lampu mendekati UV sebentar nyala dan sebentar gelap. Kandungan karbon dan nitrogen yang tinggi di dalam tanah mendukung keberadaan dan kepadatan populasi cendawan (Soesanto, 2019).

2.1.3. Tanaman jarak kepyar (*Ricinus communis* L.)

Tanaman jarak kepyar merupakan tanaman semusim yang sudah dapat dipanen pada saat umur 4 bulan. Tanaman jarak kepyar merupakan tanaman yang hanya memerlukan teknik budidaya sederhana dan dapat hidup di tanah yang relatif kurang subur atau lahan kering. Pada awalnya tanaman jarak kepyar hanya dimanfaatkan untuk pengobatan tradisional, namun seiring perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan, biji jarak kepyar diketahui dapat menghasilkan menghasilkan minyak castor yang banyak dimanfaatkan secara masif untuk berbagai kepentingan industri (Suryono, 2019).



Gambar 3 Tanaman jarak kepyar
(Sumber : Jena dan Gupta, 2012)

Keterangan : (A) Makrokonidia (B) Hifa

Jarak kepyar termasuk dalam tumbuhan berpembuluh dan menghasilkan biji. Tanaman ini juga termasuk tumbuhan berbunga. Klasifikasi tanaman jarak kepyar adalah sebagai berikut :

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Magnoliophyta
Kelas	: Magnoliopsida
Subkelas	: Rosidae
Ordo	: Euphorbiales
Famili	: Euphorbiaceae
Genus	: Ricinus
Spesies	: <i>Ricinus communis</i> L.

Secara morfologis, daun tanaman ini berbentuk seperti telapak tangan (palmate) dengan panjang sekitar 14 sampai 15 cm, memiliki 5 sampai 12 lobus dengan tepi bergerigi dan ujung runcing (akuminat). Tangkainya berbentuk bulat, panjang, dan tersusun secara bergantian (alternate) di sepanjang batang tanaman (Nour, *et al.*, 2023). Warna daun bervariasi tergantung pada usia dan varietas, mulai dari merah keunguan saat muda hingga hijau gelap atau bahkan ungu dramatis hingga cokelat kemerahan (Chakrabarty, *et al.*, 2021). Bunga jarak kepyar tumbuh dalam perbungaan terminal seperti malai, terdiri dari bunga jantan di bagian bawah dan bunga betina di bagian atas. Ovarium bunga betina berwarna hijau atau merah dengan tiga sel dan duri lembut (Stone, 2024).

Buah jarak berbentuk elipsoid hingga hampir bulat, berwarna cokelat, dan biasanya pecah menjadi tiga bagian yang masing-masing berisi satu biji. Biji jarak berbentuk lonjong, berukuran 9 sampai 17 mm, berwarna coklat berbintik hitam dengan struktur kecil (caruncle) di pangkalnya. Biji ini memiliki endosperma putih melimpah dan kotiledon yang tipis (Kisworini, 2022).

2.1.4. Minyak atsiri

Minyak atsiri adalah minyak yang sangat pekat dan wangi yang berasal dari tumbuhan yang diperoleh melalui distilasi uap, distilasi kering, hidrodifusi, atau lainnya yang sesuai metode mekanis tanpa pemanasan. Minyak atsiri didefinisikan sebagai “esensi” tanaman dalam literatur aromaterapi dan metode ekstraksi sangat

penting untuk mengkategorikan aromatik konstituen sebagai minyak esensial (Manion dan Widder, 2017).

Secara kimiawi, minyak atsiri merupakan campuran dari beberapa terpena atau terpenoid yang merupakan polimer dari unit isoprena. Minyak atsiri disintesis di dalam sitoplasma dan biasanya hadir dalam bentuk tetesan kecil di antara sel. Minyak ini tidak larut dalam air, lipofilik dan larut dalam pelarut organik, mudah menguap dan bersifat aromatik. Hampir semua bagian tanaman, seperti kulit daun, bunga, rimpang atau akar, kulit, tunas biji, dilaporkan sebagai sumber minyak atsiri (Tongnuanchan dan Benjakul, 2014).

Minyak atsiri dan komponen-komponennya memiliki peran penting dalam aktivitas antimikroba. Aktivitas antimikroba minyak atsiri utamanya bergantung pada tiga karakteristik yaitu sifat minyak atsiri (hidrofilik atau hidrofobik), komponen kimianya, dan organisme target (Thapa, *et al.*, 2020). Karena sifatnya yang hidrofobik, minyak atsiri dapat menembus dinding sel dan membran sitoplasma, mengganggu struktur dinding sel, dan membuatnya lebih permeabel. Peningkatan permeabilitas membran ini dapat menyebabkan kebocoran makromolekul dan bahan seluler lainnya yang menyebabkan kematian sel (Bakkali *et al.*, 2008)

Selain itu, aktivitas antifungi minyak atsiri sebagian besar dipengaruhi oleh kandungan senyawa bioaktif seperti fenol, aldehida, alkohol, dan terpenoid. Senyawa fenolik diketahui memiliki kemampuan kuat dalam merusak struktur membran dan mengganggu fungsi enzimatis sel jamur. Sementara itu, terpenoid sebagai komponen utama minyak atsiri memiliki gugus fungsional seperti atom oksigen dan gugus metil yang dapat berinteraksi dengan sistem enzim jamur, sehingga menghambat metabolisme dan pertumbuhan sel (Himani *et al.*, 2022).

Minyak atsiri memiliki peran signifikan dalam pertahanan tanaman terhadap bakteri, virus, serangga, cendawan, dan gulma (Aktor, Sengupta, dan Chowdhury, 2021). Minyak atsiri merupakan campuran kompleks senyawa volatil alami yang memiliki potensi besar sebagai fungisida generasi baru yang lebih ramah lingkungan. Berbeda dengan fungisida sintetis konvensional, minyak atsiri bekerja melalui berbagai mekanisme spesifik terhadap sel jamur. Selain itu, minyak atsiri juga dapat

menghambat biosintesis ergosterol, yaitu komponen penting dalam membran sel jamur yang berfungsi menjaga stabilitas dan permeabilitas sel. Gangguan pada ergosterol akan menyebabkan disfungsi membran dan menghambat pertumbuhan jamur (Tian *et al.*, 2012).

2.1.5. Sifat fisik dan kimia minyak atsiri biji jarak kepyar

Minyak jarak merupakan minyak biji yang paling banyak digunakan dan memiliki nilai ekonomi yang penting di dunia. Biji jarak mengandung sekitar 40 sampai 55% minyak, sedangkan inti bijinya mengandung 64 sampai 71% minyak, yang merupakan kadar tertinggi di antara semua tanaman penghasil minyak yang dibudidayakan. Sifat fisik dan kimia minyak jarak meliputi kadar air, densitas, indeks bias, titik nyala, titik kilat, titik asap, titik awan, titik tuang, viskositas, warna, pH, kekeruhan, kandungan lipid, asam lemak bebas, nilai keasaman, nilai penyabunan, kandungan zat yang tidak dapat disabunkan, nilai peroksida, nilai iodin, bilangan setana, dan nilai kalor (Chakrabarty, 2021).

Tabel 1. Sifat fisik dan kimia minyak atsiri biji jarak kepyar

Sifat-sifat	Kisaran nilai rata-rata
Kelembaban (%)	0,2-0,31
Kepadatan (g/cm ³)	0,964-0,950
Indeks bias pada suhu 25°	1,47
Titik api (°C)	254,8-257,2
Titik nyala (°C)	222,9-227,1
Titik asap (°C)	214-216
Titik uap (°C)	3
Titik tuang (°C)	2
Viskositas (cps)	0,305-0,545
pH	5,8
Kekeruhan	4-6
Kandungan lipid (%)	43,3-47,8
Asam lemak bebas	3,4-7,21
Nilai asam (mg/g)	4,9-14,42
Nilai penyabunan (mgKOH/g oil)	182,9-327,4
Materi yang tidak dapat disabunkan	3,4
Nilai peroksida (meq/kg)	10,2
Nilai yodium (wiji's value)	57,93-59,35
Angka setana	55,9
Nilai kalor (KJ/Kg)	36,25

Sumber : (Chakrabarty, 2021)

Perbedaan sifat-sifat dapat disebabkan oleh kondisi lingkungan yang mempengaruhi pertumbuhan dan produktivitasnya. Panjang rantai polimer juga dapat mempengaruhi mutu minyak jarak, semakin panjang rantainya semakin besar berat molekulnya dan semakin besar nilai viskositasnya (Astmaiya, Azhari, dan Jalaluddin, 2023).

Berdasarkan hasil analisis *Gas Chromatography Mass Spectrophotometry* (GCMS) yang dilakukan oleh Sunday, *et al.*, (2020), terdapat 48 senyawa fitokimia yang terkandung dalam minyak atsiri biji jarak, namun dalam penelitian ini mengambil 5 senyawa yang tergolong dalam metabolit sekunder dan berdasarkan nilai %Conc. tertinggi dari senyawa tersebut. Berdasarkan Qiao, *et al.*, (2011) senyawa dengan persentase area tertinggi dianggap sebagai konstituen dominan, yang secara kuantitatif memberikan kontribusi paling besar terhadap aktivitas biologis sehingga didapatkan 5 senyawa yaitu sebagai berikut:

Tabel 2. Senyawa hasil GCMS minyak atsiri biji jarak kepyar

Nama Senyawa	Golongan metabolit sekunder	Rumus molekul	%Conc.
Phenol, 4-(2-aminoethyl)-(tryamine)	Alkaloid	C ₈ H ₁₁ NO	9,93
Dodecanamide, N-(2-hydroxyethyl)	Amida	C ₁₄ H ₂₉ NO ₂	3,37
Benzofuran, 2,3-dihydro-Piperidinone	Fenolik	C ₈ H ₈ O	3,18
N-Acetyltyramine	Alkaloid	C ₅ H ₉ NO	2,41
	Alkaloid	C ₁₀ H ₁₃ NO ₂	2,29

Sumber : (Sunday, *et al.*, 2020)

Senyawa-senyawa hasil GCMS tersebut akan dijadikan sebagai molekul ligan. Ligan merupakan molekul yang dapat berikatan dengan reseptor tertentu pada permukaan sel atau di dalam sel. Ligan dapat berupa hormon, neurotransmitter, ion, peptida, atau molekul lain yang menginisiasi suatu respon biologis ketika berikatan dengan reseptor. Interaksi ini bersifat spesifik, artinya ligan tertentu hanya dapat berikatan dengan reseptor tertentu (Alberts, *et al.*, 2015).

2.1.6. *In silico* dan *molecular docking*

In silico merupakan salah satu metode untuk menemukan senyawa yang berpotensi untuk dijadikan sebagai fungisida. Metode ini memiliki banyak keuntungan, seperti mengurangi penggunaan hewan percobaan dan memungkinkan visualisasi mekanisme kerja senyawa terhadap targetnya dengan cara memprediksi molekul baru dan fungsinya. Metode ini membantu memilih molekul yang lebih baik sebelum diuji secara *in vitro* atau *in vivo*. Metode ini juga digunakan untuk merancang, memprediksi stabilitas, sifat fisika dan kimia, serta mengoptimalkan ekspresi dari host (Dana, *et al.*, 2020).

Molecular docking adalah metode berbasis komputer yang digunakan untuk menemukan pola interaksi optimal antara molekul ligan dan reseptor. Saat ini, penelitian yang menggunakan metode komputasi sangat penting dalam berbagai aspek penelitian biologi, medis, pertanian, dan kelautan. Salah satu keuntungannya adalah dalam proses penemuan dan pengembangan obat (Widodo, *et al.*, 2018).

Dalam bidang pertanian *Molecular docking* berperan sebagai metode penting dalam pengembangan biopestisida, pendekatan ini tidak hanya meningkatkan efisiensi penemuan biopestisida tetapi memudahkan optimalisasi senyawa utama untuk aplikasi pertanian (Benatar, 2025). *Molecular docking* dapat digunakan untuk memodelkan dan memahami interaksi antara molekul kecil dan molekul besar seperti protein, serta mempelajari aktivitas pengikatan target protein dan proses biokimia. Metode ini melibatkan dua langkah dasar dalam prediksi, yaitu konformasi dan posisi ligan serta pengikatannya, serta metode pengambilan sampel dan skema analisis akhir (Meng, Zhang dan Cui, 2012).

Uji *in silico* digunakan untuk memprediksi aktivitas molekul terhadap sel target yang dipilih melalui proses *docking* yang bertujuan untuk menyesuaikan dan menyelaraskan molekul kecil (ligan) ke dalam sel target, yaitu molekul besar (protein). *1,3- β -glucan synthase* merupakan salah satu contoh protein target yang digunakan dalam penelitian ini. Protein ini merupakan enzim yang terlibat dalam pembentukan beta-glukan pada cendawan dari filum ascomycota. Enzim ini berperan penting dalam pembentukan polimer β -(1,3) *glucan* yang merupakan komponen utama dari dinding

sel cendawan. Hasil dari *docking* ini berupa nilai *Rerank score* (RS) atau nilai energi. Biasanya proses *docking* sangat penting dalam dunia medis untuk merancang, mengoptimalkan, dan menemukan obat. Pada sektor pertanian, proses ini dapat menyasar produk aplikatif untuk mengatasi masalah hama dan penyakit pada tanaman (Parikesit, Anugoro dan Putranto, 2017).

Menurut Stefaniu (2019), terdapat beberapa langkah yang digunakan untuk mempelajari *Molecular docking* yaitu (1) Preparasi ligan, optimalisasi ligan dan analisis struktur 3D. Diantara beberapa konformer ligan yang digunakan adalah yang paling stabil. (2) Preparasi reseptor. Penggunaan protein harus fleksibel dalam mengikat ligannya sehingga molekul air harus di lepaskan sebelum melakukan docking. (3) Identifikasi *binding site*. Langkah ini memiliki peranan penting dalam merancang obat dengan komputasi yang digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisa lokasi yang mengikat dan memprediksi reseptor.

2.2. Kerangka berpikir

Minyak atsiri dari tanaman jarak kepyar (*Ricinus communis* L.) diketahui mengandung berbagai senyawa metabolit sekunder yang berperan penting dalam aktivitas biologisnya, terutama sebagai agen antifungi. Senyawa utama yang terkandung dalam minyak atsiri umumnya meliputi golongan fenol, terpenoid, alkohol aromatik, serta senyawa volatil lainnya yang dapat diidentifikasi melalui analisis GC-MS. Komponen-komponen tersebut diketahui memiliki peran dalam menentukan aktivitas antimikroba, termasuk dalam menghambat pertumbuhan jamur patogen (Bakkali *et al.*, 2008).

Aktivitas antifungi dari minyak atsiri *Ricinus communis* berkaitan erat dengan kemampuan senyawa metabolit sekundernya dalam mengganggu struktur dan fungsi sel jamur. Menurut Burt (2004), senyawa fenolik dalam minyak atsiri mampu merusak membran sel mikroorganisme dengan meningkatkan permeabilitas membran, sehingga menyebabkan kebocoran komponen intraseluler dan berujung pada kematian sel. Selain itu, minyak atsiri juga dilaporkan dapat menghambat aktivitas enzim penting serta mengganggu proses metabolisme sel jamur, termasuk dalam rantai respirasi mitokondria yang berperan dalam produksi energi sel (Mutlu-Ingok *et al.*, 2012).

Lebih lanjut, Pandey, Singh, dan Tripathi (2016) menyatakan bahwa minyak atsiri memiliki kemampuan dalam menghambat pertumbuhan jamur dari genus *Fusarium*, termasuk dalam menekan pembentukan spora yang berperan dalam penyebaran penyakit. Aktivitas ini menunjukkan bahwa senyawa bioaktif dalam minyak atsiri tidak hanya bersifat fungistatik, tetapi juga dapat bersifat fungisidal tergantung pada konsentrasi dan jenis senyawa yang terkandung. Senyawa seperti terpenoid dan fenol diketahui bekerja secara sinergis dalam mengganggu integritas membran sel, menghambat sintesis dinding sel, serta menginterferensi fungsi protein penting pada jamur.

Interaksi antara senyawa metabolit sekunder dalam minyak atsiri dengan protein pada jamur dapat dianalisis melalui pendekatan *molecular docking*, yaitu metode komputasi yang digunakan untuk memprediksi orientasi, posisi, dan kekuatan ikatan antara ligan (senyawa aktif) dengan reseptor (protein target). Melalui pendekatan ini, dapat diketahui nilai energi ikatan (*binding affinity*) serta jenis interaksi yang terbentuk, seperti ikatan hidrogen, interaksi hidrofobik, dan gaya van der Waals, yang berperan dalam menentukan kestabilan kompleks ligan-protein (Ferreira *et al.*, 2015). Interaksi tersebut terjadi dengan residu asam amino polar seperti glutamin (GLN), histidin (HIS), dan glutamat (GLU), serta interaksi hidrofobik dengan residu non-polar seperti triptofan (TRP) dan fenilalanin (PHE), yang berkontribusi dalam menentukan kestabilan dan afinitas ikatan antara ligan dan protein (Bissantz *et al.*, 2010).

Penelitian Diass *et al.*, (2024) menyimpulkan bahwa senyawa aktif dalam minyak atsiri mampu berikatan dengan protein penting pada *Fusarium oxysporum* dan menghambat aktivitas biologisnya. Dalam konteks ini, senyawa aktif seperti eugenol, citral, dan linalool berperan sebagai ligan yang dapat masuk ke dalam sisi aktif protein target. Protein target yang dikaji pada penelitian ini adalah enzim *1,3-β-glucan synthase*, yang berperan penting dalam sintesis dinding sel jamur.

Ketika senyawa aktif dari minyak atsiri berikatan dengan sisi aktif enzim, maka aktivitas katalitik enzim dapat terhambat. Hambatan tersebut menyebabkan terganggunya pembentukan β -glukan sebagai komponen utama dinding sel, sehingga

struktur dinding sel menjadi lemah, permeabilitas sel meningkat, dan pada akhirnya menyebabkan lisis atau kematian sel jamur. Hal ini sejalan dengan pernyataan bahwa protein yang terlibat dalam sintesis dinding sel merupakan target potensial dalam pengendalian patogen (Omar, El-Hefnawy, dan El-Shanawany, 2021).

Kekuatan interaksi antara ligan dan protein dapat dilihat dari nilai *binding affinity*, di mana nilai energi yang lebih rendah menunjukkan ikatan yang lebih stabil dan potensi inhibisi yang lebih tinggi (Benatar, 2025). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Khan, *et al.*, (2023), berhasil diungkap bahwa senyawa GKK1032A2 memiliki kemampuan pengikatan yang baik terhadap protein target 6R8M dengan nilai *Binding Affinity* -8,2 kcal/mol. Artinya, senyawa tersebut mampu berinteraksi dengan protein target secara kuat dan stabil, yang ditunjukkan oleh nilai energi pengikatannya.

Prediksi yang dihasilkan melalui pendekatan *in silico* kemudian dikonfirmasi dengan pengujian *in vitro* untuk memastikan aktivitas biologis senyawa pada kondisi *real time*. Uji *in vitro* dilakukan dengan mengevaluasi senyawa pada minyak atsiri biji jarak kepyar dalam menghambat pertumbuhan cendawan *Fusarium sp.* secara langsung di laboratorium dalam kondisi aseptik. Penelitian Luis *et al.*, (2012) melaporkan bahwa minyak atsiri *Ricinus communis* efektif dalam menghambat perkembangan penyakit antraknosa yang disebabkan oleh *Colletotrichum sp.* pada buah papaya dengan beberapa konsentrasi, yaitu 1%, 5%, dan 10%. Hasil penelitian menyatakan bahwa peningkatan konsentrasi minyak atsiri berbanding lurus dengan peningkatan efektivitas penghambatan. Pada konsentrasi 5% telah terlihat penurunan signifikan perkembangan lesi, sedangkan pada konsentrasi 10% mampu menekan perkembangan penyakit sekitar 60 hingga 80% dibandingkan kontrol.

Pada penelitian lain dinyatakan bahwa minyak jarak *Ricinus communis*, memiliki aktivitas antifungi terhadap *Fusarium solani*. Pada pengujian *in vitro*, peningkatan konsentrasi minyak dari 1% hingga 3% menunjukkan peningkatan daya hambat terhadap pertumbuhan miselium jamur, dengan kisaran inhibisi dari sekitar 25% pada konsentrasi rendah hingga mencapai 59% pada konsentrasi tertinggi (Hatem dan Nawar, 2024). Hal ini menunjukkan bahwa minyak atsiri *Ricinus communis*

memiliki aktivitas antifungi yang bersifat konsentrasi-dependent dan berpotensi sebagai biofungisida alami.

Maka dari itu, penelitian ini akan menganalisis senyawa yang terkandung pada minyak atsiri biji jarak kepyar yang memiliki potensi sebagai biofungisida terhadap *Fusarium sp.* serta melakukan konfirmasi pengaruh penghambatannya secara *in vitro* dengan konsentrasi perlakuan yaitu sebesar 3%, 4%, dan 5%.

2.3. Hipotesis

Berdasarkan kajian dan kerangka pemikiran di atas, maka hipotesis yang dikemukakan oleh penulis adalah :

- 1) Diketahui pola interaksi dan nilai *scoring* penambatan molekul ligan dari senyawa metabolit sekunder minyak atsiri biji jarak kepyar (*Ricinus communis* L.) terhadap protein *1,3- β -glucan synthase* dari *Fusarium sp.*
- 2) Minyak atsiri biji jarak kepyar (*Ricinus communis* L.) berpengaruh terhadap daya hambat cendawan *Fusarium sp* pada tanaman cabai rawit secara *in vitro*.
- 3) Diketahui konsentrasi minyak atsiri biji jarak kepyar (*Ricinus communis* L.) yang paling baik dalam menghambat pertumbuhan cendawan *Fusarium sp.* pada tanaman cabai secara *in vitro*.