

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA, KERANGKA BERPIKIR, DAN HIPOTESIS

2.1 Tinjauan Pustaka

2.1.1 Tanaman kelor (*Moringa oleifera*)

Di Indonesia, kelor dikenal luas dan tersebar di berbagai daerah dari Aceh hingga Nusa Tenggara Barat. Tanaman kelor (*Moringa oleifera* L.) termasuk kedalam famili *Moringaceae*, yang berasal dari India dan tumbuh luas di daerah tropis serta subtropis dunia, termasuk Asia dan Afrika. Setiap bagian tanaman kelor yaitu daun, bunga, polong, dan biji memiliki nilai gizi yang tinggi. Seperti daun kelor yang mengandung berbagai mineral penting seperti kalsium, kalium, magnesium, zat besi, dan seng, serta vitamin A, B, C, D, dan E (Gopalakrishnan *et al.*, 2016). Daun kelor merupakan bagian yang paling banyak dimanfaatkan karena mengandung berbagai nutrisi penting seperti protein, vitamin, mineral, serta berbagai senyawa bioaktif seperti flavonoid dan fenolik (Prajapati *et al.*, 2022).

Menurut Nugrahani *et al.*, (2021), klasifikasi tanaman kelor adalah sebagai berikut:

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Magnoliophyta
Kelas	: Magnoliopsida
Ordo	: Brassicales
Famili	: Moringaceae
Genus	: Moringa
Spesies	: <i>Moringa oleifera</i> L.

Menurut Trisnawati & Mutaqien (2021), tanaman kelor mudah tumbuh dan mampu beradaptasi di berbagai lingkungan dengan kondisi ideal seperti ketinggian 0-1.000 mdpl, suhu 25-35 °C, curah hujan 250-2.000 mm per tahun, serta tanah berpasir atau lempung berpasir yang berpori dengan pH tanah 5-9. Secara fisik, kelor merupakan tanaman berkayu dengan tinggi bisa mencapai 7-12 meter, memiliki daun majemuk kecil, bunga berwarna putih kekuningan, memiliki polong

panjang yang ramping yang berisi biji didalamnya seperti pada Gambar 1, dan pemanenan daun kelor dapat dilakukan setelah tanaman berumur 2 sampai 3 bulan setelah tanam yang selanjutnya dapat dipanen secara berkala setiap 35 hari sampai 60 hari tergantung pertumbuhan dan teknik pemangkasan yang diterapkan (Akbar *et al.*, 2019).



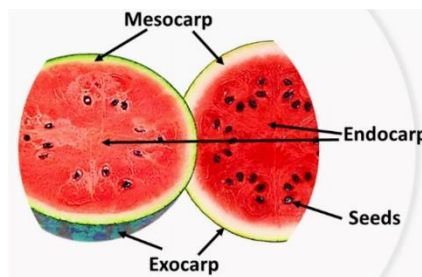
Gambar 1. Pohon kelor, daun kelor, biji kelor, dan bunga kelor
Sumber: (Anzano *et al.*, 2021)

Menurut Mridha & Barakah, (2017), beberapa penyakit penting pada tanaman kelor meliputi layu fusarium, busuk akar, busuk batang, bercak daun dan embun tepung. Penyakit-penyakit tersebut umumnya disebabkan oleh jamur patogen yang berkembang pada kondisi kelembapan tinggi dan sanitasi kebun yang kurang baik. Layu fusarium merupakan salah satu penyakit penting pada tanaman kelor yang disebabkan oleh jamur patogen *Fusarium oxysporum*. Patogen ini menyerang sistem perakaran dan jaringan pembuluh xilem sehingga menghambat transportasi air dan unsur hara keseluruh bagian tanaman. Gejala yang muncul meliputi daun menguning, layu permanen, pertumbuhan terhambat, dan pada serangan berat menyebabkan kematian tanaman (Majumder *et al.*, 2024).

2.1.2 Semangka (*Citrullus lanatus*)

Semangka (*Citrullus lanatus*) merupakan salah satu produk komoditas hortikultura penting yang termasuk dalam famili *Cucurbitaceae*. Tanaman ini berasal dari Afrika Selatan dan telah menyebar ke seluruh dunia termasuk Indonesia. Menurut data Badan Pusat Statistik (2025) produksi buah semangka di Indonesia yaitu mencapai 421.087 ton pada tahun 2024. Di Indonesia, semangka

banyak dibudidayakan di dataran rendah karena dapat memberikan keuntungan ekonomis bagi petani dan pelaku usaha agribisnis (Kusumastuti *et al.*, 2017). Selain daging dan buahnya, kulit buah semangka seperti pada Gambar 2, memiliki kadar flavonoid yang tinggi dan aktivitas antioksidan yang kuat, yang menunjukkan bahwa kulit buah semangka yang kaya akan flavonoid berkontribusi terhadap aktivitas antioksidan (Rahayu *et al.*, 2024).



Gambar 2. Struktur buah semangka: eksokarp, mesokarp, endokarp dan biji
Sumber: (Silva *et al.*, 2025)

Selain dikonsumsi bagian buahnya, semangka juga mengandung senyawa-senyawa bioaktif yang berpotensi sebagai antioksidan, terutama pada bagian mesokarp. Mesokarp pada semangka mengandung berbagai senyawa bioaktif penting, berdasarkan hasil analisis GC-MS terhadap ekstrak metanol pada bagian mesokarp semangka teridentifikasi setidaknya 23 senyawa yang beberapa diantaranya merupakan senyawa metabolit sekunder yang berperan sebagai antioksidan, dimana senyawa bioaktif utama yang ditemukan meliputi flavonoid, senyawa fenolik, asam lemak, dan ester (Triana & Etika, 2024). Penelitian lain juga berdasarkan hasil analisis GC-MS ekstrak kulit buah semangka adanya senyawa kimia yang teridentifikasi, diantaranya 9,12,15-Octadecatrienoic acid, methyl eser, dan hexadecanoic acid sebagai senyawa dominan. Keberadaan berbagai senyawa tersebut menunjukkan bahwa kulit buah semangka mengandung beragam metabolit yang berpotensi memiliki aktivitas biologis, terutama sebagai antioksidan dan antimikroba (Sukratilla & Etika, 2024).

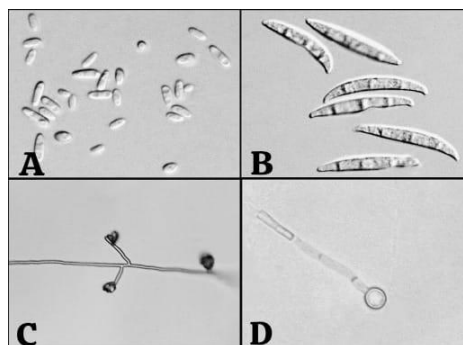
Kulit buah semangka juga kaya akan karbohidrat terlarut 45-64%, kartenoid, alkaloid, saponin, phytates serta protein, dan vitamin B kompleks ini dikenal memiliki aktivitas antimikroba serta sebagai agen reduktif atau pengikat dalam

biosintesis nanopartikel yang meningkatkan fungsi biomedika sehingga ekstrak etanol kulit buah semangka menunjukkan aktivitas antibakteri dan antijamur terhadap *Escherichia coli* dan *Candida albicans* (Cemaluk, 2015).

2.1.3 *Fusarium* sp. sebagai patogen penyebab layu fusarium

Fusarium adalah salah satu genus patogen jamur tanaman paling penting yang menyebabkan penyakit parah pada berbagai tanaman. Penyakit yang disebabkan oleh *Fusarium* tidak hanya mengurangi hasil panen dan mengakibatkan kerugian ekonomi, tetapi juga menimbulkan ancaman kesehatan (Beccari *et al.*, 2022). *Fusarium* bertindak sebagai patogen tanaman yang merusak, produsen mikotoksin yang berbahaya, dan patogen oportunistik pada manusia (Ekwomadu & Mwanza, 2023).

Secara mikroskopis, *Fusarium* sp. menunjukkan karakteristik morfologi yang khas. Spora aseksualnya terdiri dari dua jenis yaitu mikrokonidia (A) yang berukuran kecil dan berbentuk oval, serta makrokonidia (B) yang berukuran lebih besar, khas berbentuk seperti sabit, berdinding tipis, dan memiliki beberapa sekat. Pengamatan juga menunjukkan bahwa mikrokonidia dapat terbentuk dan berkumpul di ujung struktur monofialida pendek, menciptakan apa yang disebut sebagai kepala semu (C). Selain itu, *Fusarium* sp. ini juga membentuk klamidospora (D), yaitu spora istirahat berdinding tebal yang berbentuk bulat dan terletak sendirian di ujung hifa (Gambar 3) (Fourie *et al.*, 2011).



Gambar 3. Karakteristik morfologi *Fusarium* sp.

Keterangan: (A) Mikrokonodia berbentuk oval; (B) makrokonodia berbentuk sabit, berdinding tipis, dan halus; (C) mikrokonodia yang terbentuk di kepala semu pada monofialida pendek; dan (D) klamidospora terminal tunggal.

Sumber: (Fourie *et al.*, 2011)

Fusarium oxysporum merupakan jamur patogen tanah yang sulit dikendalikan karena sangat mudah menyebar melalui spora mikrokonidium dan mampu bertahan hidup lama. Jamur ini membentuk klamidospora, yaitu spora yang bisa bertahan bertahun-tahun di tanah tanpa tanaman inang, yang menjadikannya sumber infeksi utama di lapangan, sehingga menjadi salah satu faktor yang menyulitkan dalam pengendalian penyakit layu fusarium (Sutejo *et al.*, 2008). Penyebaran secara genetik melalui proses transfer kromosom aksesori juga merupakan mekanisme penting dalam evolusi dan penyebaran patogen ini. Lombard *et al.*, (2019) menjelaskan bahwa *F. oxysporum* memiliki kemampuan untuk mentransfer kromosom yang mengandung gen virulensi secara horizontal ke strain lain yang sebelumnya tidak patogen, memungkinkan munculnya strain baru yang dapat menyerang inang tertentu, sehingga memperluas jangkauan penyebaran geografis dan inang yang dapat terinfeksi. Oleh karena itu, selain penyebaran secara fisik melalui media tanah dan air, penyebaran *Fusarium oxysporum* juga bersifat genetik dan dapat memicu evolusi cepat dalam populasi patogen.

2.1.4 Molecular docking

Molecular docking merupakan salah satu metode komputasi berbasis struktur yang digunakan untuk melihat bagaimana sebuah obat atau senyawa kimia menempel pada protein target untuk memprediksi seberapa kuat dan tepat keduanya saling berinteraksi secara digital. Metode ini mampu menentukan orientasi ikatan (*binding pose*) serta menghitung afinitas ikatan ligan terhadap target, sehingga menjadi alat penting dalam *computer-aided drug design (CADD)* (Muhammed & Aki-Yalcin, 2022).

Tahapan utama *molecular docking* meliputi persiapan protein target yang dilakukan melalui penghapusan molekul air, penambahan atom hidrogen, serta optimasi struktur. Kemudian persiapan ligan yang dapat digambar atau diunduh dari basis data dilanjutkan dengan proses sampling berupa eksplorasi orientasi serta menyesuaikan ligan pada situs aktif protein. Setelah itu dilakukan skoring untuk mengevaluasi stabilitas kompleks ligan-protein menggunakan *scoring function* yang menghitung energi ikatan (Meng *et al.*, 2011).

Docking tetap memiliki keterbatasan, seperti ketergantungan pada kualitas struktur protein target, keterbatasan *scoring function* dalam memperkirakan afinitas ikatan secara akurat, serta perbedaan kondisi simulasi komputasi dengan kondisi biologis nyata. Oleh karena itu, hasil *docking* perlu didukung oleh validasi eksperimental untuk memastikan keandalannya (Desai *et al.*, 2024). Dengan demikian, *molecular docking* menjadi metode penting dalam penelitian *in-silico* modern karena dapat mempercepat proses penemuan senyawa aktif, baik dalam bidang pertanian (pestisida) maupun farmasi (obat), meskipun tetap memerlukan konfirmasi melalui studi eksperimental dengan uji *in vitro* (Natale *et al.*, 2023).

2.2 Kerangka Pemikiran

Salah satu ancaman utama untuk budidaya tanaman kelor (*Moringa oleifera*) adalah layu fusarium yang disebabkan oleh *Fusarium oxysporum* yang dapat merusak sistem perakaran dan menghambat pertumbuhan tanaman. Selama ini, pengendalian penyakit tersebut biasanya hanya menggunakan fungisida sintetis, yang berbahaya bagi lingkungan dan kesehatan manusia jika digunakan secara berlebihan. Oleh karena itu, cara pengendalian alternatif harus ditemukan yang tidak hanya efektif tetapi juga mengurangi berbagai efek negatif, salah satunya dengan menggunakan ekstrak tanaman sebagai fungisida nabati. Dalam penelitian Suriyaprom *et al.* (2022) menunjukkan bahwa ekstrak buah adalah sumber potensial agen mikroba alami yang aman dan efektif terhadap patogen, karena kandungan senyawa bioaktif yang memiliki aktivitas antioksidan tinggi.

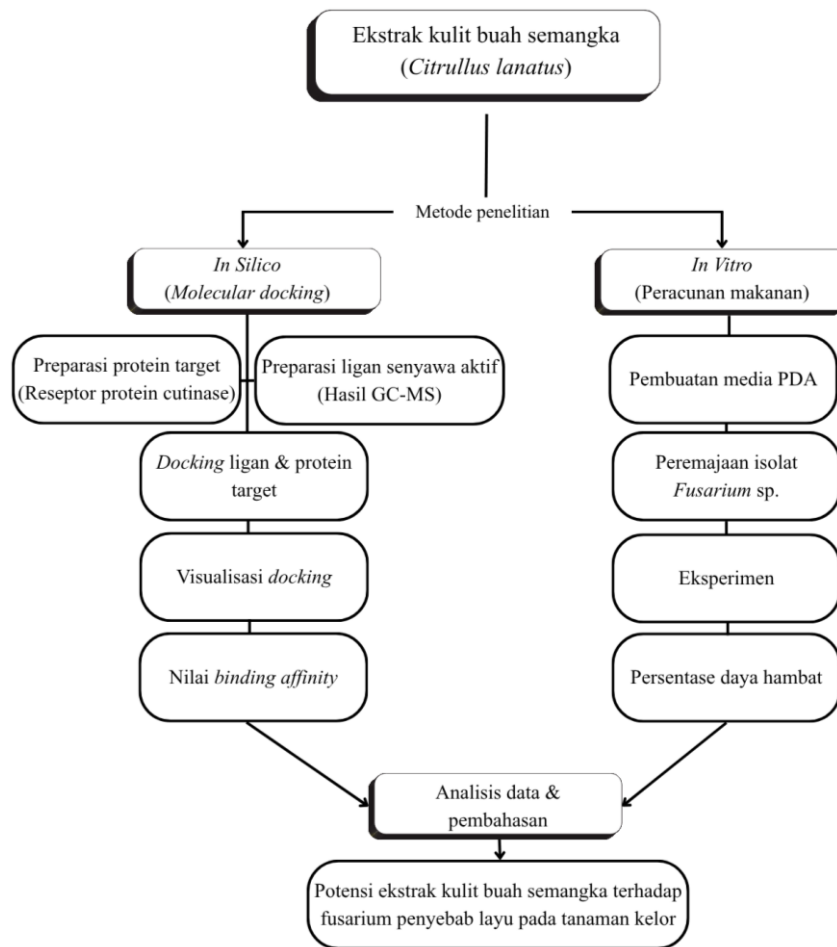
Salah satu tanaman yang berpotensi tersebut adalah bersumber dari kulit buah semangka (*Citrullus lanatus*). Hal ini diperkuat dari hasil penelitian Cokro *et al.*, (2024), yang menunjukkan bahwa ekstrak kulit buah semangka memiliki sifat antibakteri yang dapat menurunkan secara signifikan jumlah koloni bakteri pada konsentrasi 12,5%, 25%, 50%, dan 100% serta adanya efektivitas antibakteri yang sebanding dengan kontrol positif klorheksidin 0,2%.

Berdasarkan informasi tersebut, terdapat potensi yang dapat dilakukan dengan pendekatan metode uji *in silico* dan uji *in vitro* untuk menguji kemampuan ekstrak kulit buah semangka dalam menghambat pertumbuhan *Fusarium oxysporum*. di laboratorium. Uji *in silico* digunakan untuk memprediksi interaksi antara molekul

senyawa aktif dengan protein target melalui pendekatan komputasi, salah satunya menggunakan metode *molecular docking* (Natale *et al.*, 2023). Pendekatan ini berperan dalam menyaring dan mengidentifikasi kandidat senyawa yang paling potensial untuk ditindak lanjuti pada penelitian eksperimental (Aamir *et al.*, 2018), Selanjutnya, hasil yang diperoleh dari analisis *in silico* umumnya divalidasi dengan uji *in vitro* guna menilai efektivitas ekstrak mentah dalam menghambat pertumbuhan *Fusarium oxysporum* di laboratorium (Natale *et al.*, 2023).

Berdasarkan penelitian Ermawati & Idrus (2022), menunjukkan bahwa semua formula sirup ekstrak kulit buah semangka mampu menghambat pertumbuhan *Escherichia coli* dengan konsentrasi 5% dengan zona hambat 13,3 mm, konsentrasi 10% dengan zona hambat 15,3 mm, dan konsentrasi 15% dengan zona hambat 16,3 mm ini termasuk kedalam kategori daya hambat kuat, sehingga ekstrak kulit buah semangka memiliki potensi antibakteri terhadap *Escherichia coli* karena mengandung senyawa metabolit sekunder yang memiliki aktivitas sebagai antibakteri.

Penelitian lainnya yang menguji aktivitas ekstrak kulit buah semangka terhadap *Candida albicans* dan *Bacillus subtilis* dengan konsentrasi 2,5%, 5%, 10%, 20%, dan 40%, hasilnya menunjukkan bahwa ekstrak kulit buah semangka memiliki kemampuan efektif sebagai agen antijamur terhadap *Candida albicans* yaitu pada konsentrasi 20% dengan zona hambat 11,3 mm juga pada konsentrasi 40% dengan zona hambat 13,7 mm yang termasuk kedalam kategori kuat. Ekstrak kulit buah semangka efektif sebagai agen antibakteri terhadap *Bacillus subtilis* yaitu pada konsentrasi 20% dengan zona hambat 11,4 mm juga pada konsentrasi 40% dengan zona hambat 14,6 mm yang termasuk kedalam kategori kuat (Susanti *et al.*, 2021). Oleh karena itu, ekstrak kulit buah semangka berpotensi menjadi kandidat potensial dalam pengembangan pestisida nabati yang ramah lingkungan dan efektif dalam menghambat pertumbuhan jamur.



Gambar 4. Diagram alur kerangka pemikiran penelitian

Berdasarkan Gambar 4, diagram alur penelitian menunjukkan bahwa penelitian dilakukan melalui dua pendekatan, yaitu *in silico* dan *in vitro*. Metode *in silico* dilakukan menggunakan *molecular docking* untuk mengetahui interaksi senyawa aktif ekstrak kulit buah semangka terhadap protein target *Fusarium oxysporum*, sedangkan metode *in vitro* dilakukan melalui pengujian daya hambat ekstrak terhadap pertumbuhan jamur menggunakan metode peracunan makanan. Hasil kedua pengujian kemudian dianalisis untuk mengetahui potensi antifungi ekstrak kulit buah semangka terhadap *Fusarium oxysporum* penyebab layu pada tanaman kelor. Maka dari itu penelitian ekstrak kulit buah semangka sebagai penghambat patogen *Fusarium oxysporum* menjadi penting untuk dilakukan dalam menemukan alternatif bahan yang lebih ramah lingkungan, efektif dan tetap memberikan hasil yang optimal.

2.3 Hipotesis

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

1. Terdapat senyawa bioaktif dalam ekstrak kulit buah semangka (*Citrullus lanatus*) yang berpotensi sebagai antifungi yang dianalisis melalui pendekatan *in silico*
2. Ekstrak kulit buah semangka (*Citrullus lanatus*) berpotensi dalam menghambat pertumbuhan jamur *Fusarium oxysporum* pada tanaman kelor (*Moringa oleifera*) melalui pengujian *in vitro*.
3. Terdapat konsentrasi ekstrak kulit buah semangka (*Citrullus lanatus*) yang efektif dalam menghambat pertumbuhan jamur *Fusarium oxysporum* pada tanaman kelor (*Moringa oleifera*) melalui pengujian *in vitro*.