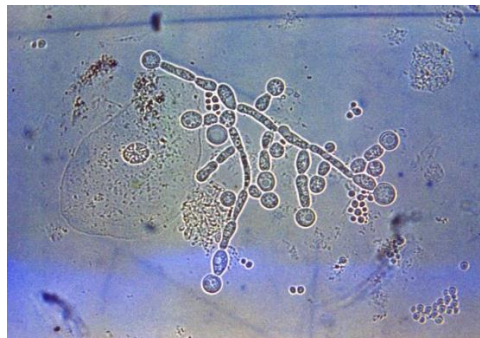


BAB 2 TINJAUAN TEORITIS

2.1 Kajian Pustaka

2.1.1 *Candida albicans* dan Kandidiasis

Secara morfologi, *C. albicans* memiliki kemampuan untuk mengalami variasi bentuk sel yang kompleks, mencerminkan sifat dimorfiknya sebagai jamur patogen oportunistik. Organisme ini dapat ditemukan dalam tiga bentuk utama, yaitu blastospora aseksual yang berkembang melalui proses pertunasan, bentuk hifa yang berupa rantai panjang sel tubular bercabang, serta bentuk pseudohifa yang tersusun atas rangkaian sel ragi memanjang.



Gambar 2.1 Morfologi jamur *C. albicans*
Sumber: Analis, (2024)

Dalam kondisi normal, bentuk ragi mendominasi dan berperan sebagai bagian dari mikrobiota komensal manusia. Namun, ketika terjadi perubahan lingkungan atau gangguan keseimbangan mikrobiota, *C. albicans* dapat beralih ke bentuk hifa atau pseudohifa yang bersifat lebih invasif dan menyebabkan kandidiasis (Kornitzer, 2019; Srb *et al.*, 2025).

Transformasi dari bentuk ragi ke bentuk filamen tersebut berperan penting dalam proses patogenesis karena memungkinkan jamur menembus dan merusak jaringan epitel maupun endotel inang, serta membantu menghindari mekanisme pertahanan fagositik dari makrofag. Selain itu, *C. albicans* juga menunjukkan kemampuan untuk bertransisi antara dua fenotipe sel, yaitu sel putih (*white cells*) dan sel buram (*opaque cells*), yang berkaitan erat dengan tingkat virulensi dan strategi reproduksi seksualnya. Sel putih umumnya terlibat dalam infeksi sistemik karena memiliki kemampuan proliferasi di jaringan internal, sedangkan sel buram lebih sering ditemukan pada infeksi superfisial seperti infeksi kulit dan memiliki

keunggulan dalam menghindari deteksi sistem imun inang. Kemampuan *C. albicans* untuk beradaptasi melalui perubahan morfologi dan fenotipe ini memberikan keuntungan evolusioner yang signifikan, memungkinkan jamur merespons perubahan lingkungan secara cepat dan mempertahankan kemampuan infeksi yang berkelanjutan. Mekanisme transisi tersebut juga bersifat stabil secara transkripsi dan dapat diwariskan antar generasi, menegaskan peran pentingnya dalam keberhasilan kolonisasi dan patogenisitas jamur ini dalam berbagai kondisi fisiologis inang (Kornitzer, 2019; Srb *et al.*, 2025). Klasifikasi *C. albicans* adalah sebagai berikut.

<i>Kingdom</i>	: Fungi
<i>Phylum</i>	: Ascomycota
<i>Subphylum</i>	: Ascomycotina
<i>Class</i>	: Ascomycetes
<i>Subclass</i>	: Saccharomycetidae
<i>Order</i>	: Saccharomycetales
<i>Genus</i>	: Candida
<i>Species</i>	: <i>Candida albicans</i>

Sumber: *American Type Culture Collection* (ATCC, 2020).

Berdasarkan data dari (ATCC, 2020), *C. albicans* (ATCC, 14053) merupakan spesies jamur dari kerajaan Fungi yang tergolong dalam filum Ascomycota, dengan tipe organisme berupa *yeast* (ragi) dan tersedia dalam bentuk *Preceptrol culture*. Secara taksonomi, strain ini termasuk dalam subfilum Saccharomycotina, kelas Saccharomycetes, ordo Saccharomycetales, dan genus Candida. Strain yang digunakan memiliki kode identifikasi NIH 3172, bukan merupakan type strain, namun telah mengalami sekuensing genom lengkap untuk mendukung penelitian genetik dan molekuler. Strain *C. albicans* ini diisolasi dari sampel darah manusia, menandakan keterkaitannya dengan infeksi sistemik pada manusia, terutama pada kondisi imunitas yang menurun. Secara geografis, isolasi dilakukan di Bethesda, Maryland, Amerika Serikat, yang dikenal sebagai pusat riset biomedis berskala internasional. Spesimen ini memiliki nilai penting dalam berbagai bidang penelitian, di antaranya penelitian resistensi antimikroba, pengembangan obat baru, pengujian mutu (*quality control*), serta riset di bidang pertanian. Dalam penyediaannya, strain *C. albicans* (ATCC, 14053) dipasarkan dalam bentuk *freeze-dried* (liofilisasi) untuk menjaga stabilitas dan viabilitas

selama proses penyimpanan. ATCC merekomendasikan penyimpanan pada suhu 2°C hingga 8°C guna mempertahankan aktivitas biologis dan kemurnian kultur.

2.1.2 Prevalensi dan pola Resistensi di Indonesia

Hasil penelitian yang dilakukan di Hasan Sadikin General Hospital oleh Prijana *et al.*, (2024) menyoroti bahwa prevalensi perbandingan *C. albicans* pada infeksi saluran kemih (ISK) antara pasien dengan diabetes mellitus (DM) dan tanpa diabetes (non-DM). Dari total 291 pasien, 21 pasien termasuk kelompok DM dan 270 pasien termasuk kelompok non-DM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *C. albicans* merupakan spesies jamur yang paling sering ditemukan pada kedua kelompok, yaitu 66,7% pada pasien DM dan 70,7% pada pasien non-DM. Resistensi terhadap antifungal juga dilaporkan, dengan micafungin menunjukkan resistensi tertinggi (DM 7,1% dan non-DM 8,9%), serta resistensi terhadap caspofungin ditemukan pada kelompok non-DM sebesar 7,9%. Penelitian ini juga mencatat bahwa kasus ISK berjamur lebih banyak terjadi pada pasien perempuan. Temuan ini menunjukkan bahwa *C. albicans* masih menjadi penyebab umum ISK pada populasi dewasa, baik dengan diabetes maupun tanpa diabetes, dan bahwa pola resistensi terhadap antifungal seperti micafungin perlu diperhatikan dalam penentuan terapi serta pencegahan ISK berjamur.

Studi lain oleh Maryani & Primaningtyas (2024) di Rumah Sakit Universitas Sebelas Maret, menunjukkan bahwa sekitar 26,4% isolat *C. albicans* dari pasien dengan pneumonia yang didapat di rumah sakit (HAP) resisten terhadap obat golongan azole. Persentase resistensi tertinggi ditemukan pada ketokonazol dan miconazol (26,47%), diikuti oleh itrakonazol (23,52%), fluconazol dan clotrimazol (14,70%), serta vorikonazol (5,88%). Pola resistensi yang serupa antar isolat menunjukkan kemungkinan adanya sumber infeksi yang sama di lingkungan rumah sakit. Hal ini mengindikasikan bahwa *C. albicans* tidak hanya berperan sebagai kolonizer, tetapi juga dapat menjadi patogen nyata yang menyebabkan infeksi sistemik serius pada pasien rawat inap.

Selain itu, laporan lain mengenai profil kepekaan antifungal pada isolat *C. albicans* penyebab kandidemia di rumah sakit rujukan di Indonesia menunjukkan bahwa spesies non-*C. albicans* mulai lebih sering muncul sebagai penyebab infeksi,

meskipun sebagian besar isolat masih sensitif terhadap golongan azole. Data surveilans di Rumah Sakit Dr. Kariadi Semarang (2017–2020) menunjukkan dominasi spesies non-*albicans*, terutama *C. parapsilosis* dan *C. tropicalis*, dengan tingkat kepekaan yang tinggi terhadap berbagai antifungal (Wulandari *et al.*, 2021).

2.1.3 Mekanisme Resistensi dan Adaptasi terhadap Azole

Penelitian terkini membahas adaptasi *C. albicans* terhadap fluconazole, termasuk mekanisme toleransi, peningkatan ekspresi pompa efflux, dan modifikasi biosintesis ergosterol oleh (Zheng *et al.*, 2025), dalam perbandingan dengan *Saccharomyces cerevisiae*, *C. albicans* cenderung mengembangkan mekanisme toleransi daripada resistensi permanen pada konsentrasi fluconazole yang tinggi, dengan tingkat toleransi yang meningkat pada suhu tubuh (37°C). Mekanisme ini melibatkan peningkatan ekspresi gen pompa efflux, yang berfungsi mengeluarkan molekul obat dari dalam sel, sehingga menurunkan efektivitas antifungal tanpa harus mengubah target molekulnya secara struktural. Selain itu, terdapat modifikasi pada biosintesis ergosterol, di mana ekspresi beberapa gen ERG mengalami penurunan pada kondisi tertentu. Hal ini menunjukkan bahwa kadar ergosterol yang stabil tetap dibutuhkan untuk mempertahankan integritas membran sel dan memungkinkan *C. albicans* bertahan di bawah tekanan antifungal. Temuan tersebut menegaskan bahwa respons *C. albicans* terhadap fluconazole tidak hanya didasarkan pada mutasi genetik yang menghasilkan resistensi tetap, tetapi juga pada kemampuan adaptif sementara (toleransi) yang dapat muncul dan menghilang sesuai kondisi lingkungan. Toleransi ini dapat menjadi tahap awal menuju resistensi sejati apabila tekanan antifungal berlangsung lama, terutama pada kondisi yang mendukung pertumbuhan *Candida*, seperti lingkungan tubuh dengan suhu dan pH yang stabil. Hal ini memperlihatkan kompleksitas mekanisme adaptasi jamur terhadap obat azole dan menjadi salah satu tantangan utama dalam terapi infeksi *Candida*.

Sejalan dengan temuan tersebut, pedoman klinis di Indonesia juga menekankan pentingnya mempertimbangkan potensi resistensi antifungal dalam diagnosis dan pengelolaan kandidiasis invasif, khususnya pada pasien dengan faktor risiko seperti penggunaan antibiotik atau antifungal sebelumnya, infeksi

berulang, dan penurunan imunitas (Rozaliyani *et al.*, 2024). Meningkatnya kasus infeksi akibat spesies *Candida non-albicans* serta laporan resistensi terhadap beberapa agen azole menuntut adanya pemantauan rutin terhadap pola kepekaan antifungal dan penggunaan uji kepekaan (*susceptibility testing*) untuk menentukan terapi yang paling efektif.

2.1.4 Pemanfaatan Tanaman Tropis sebagai Alternatif Antifungal

Munculnya resistensi terhadap obat antifungal sintetis seperti azole dan echinocandin, ditambah dengan efek samping serta biaya terapi yang cukup tinggi, mendorong banyak penelitian untuk mencari alternatif dari bahan alami, khususnya yang berasal dari tanaman. Tanaman obat diketahui mengandung berbagai senyawa aktif seperti flavonoid, tanin, saponin, alkaloid, dan minyak atsiri yang memiliki aktivitas antimikroba, termasuk antifungal. Senyawa-senyawa tersebut dapat bekerja melalui berbagai mekanisme, seperti merusak membran sel jamur, menghambat sintesis ergosterol, atau mengganggu aktivitas enzim yang penting untuk pertumbuhan *C. albicans*. Sebuah studi terbaru di Indonesia menguji beberapa ekstrak tanaman tropis, antara lain *Cymbopogon citratus* (serai), *Curcuma xanthorrhiza* (temulawak), *Curcuma aeruginosa* (kunyit hitam), dan *Zingiber officinale var. rubrum* (jahe merah), terhadap pertumbuhan *C. albicans*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keempat ekstrak tersebut memiliki aktivitas antifungal yang nyata dengan nilai *Minimum Inhibitory Concentration* (MIC) dan *Minimum Fungicidal Concentration* (MFC) yang relatif rendah dibandingkan beberapa standar antifungal sintetis. Temuan ini menegaskan bahwa bahan alam tropis memiliki potensi besar sebagai sumber alternatif antifungal yang efektif dan lebih aman (Geraldi *et al.*, 2022).

Penelitian yang dilakukan oleh Romulo & Haryo Bimo Setiarto (2025), minyak esensial buah *W. compacta* diuji terhadap beberapa mikroorganisme patogen, termasuk *C. albicans*, *S. aureus*, *E. coli*, dan *P. aeruginosa*. Hasil uji menunjukkan bahwa minyak esensial buah Kapulaga Jawa (*W. compacta*) memiliki aktivitas antibakteri yang cukup baik terhadap bakteri Gram positif, terutama *S. aureus*, namun aktivitas antifungal terhadap *C. albicans* tergolong lemah, dengan nilai *Minimum Inhibitory Concentration* (MIC) yang tinggi ($>1024 \mu\text{g/mL}$). Nilai

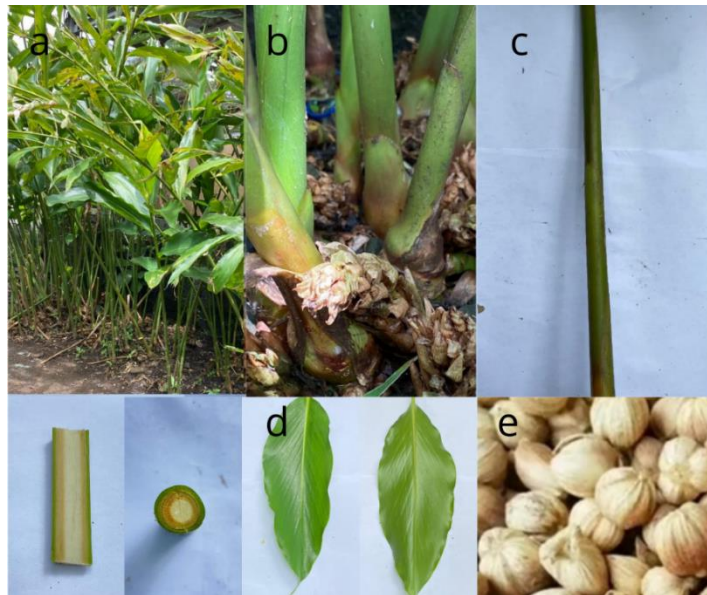
MIC yang tinggi tersebut menunjukkan bahwa pada konsentrasi yang diuji, minyak esensial dari buah Kapulaga Jawa (*W. compacta*) belum mampu secara efektif menghambat pertumbuhan *C. albicans*. Aktivitas yang rendah ini dapat disebabkan oleh perbedaan kandungan senyawa aktif, seperti monoterpen dan seskuiterpen, yang komposisinya dapat bervariasi tergantung pada bagian tanaman, kondisi lingkungan tumbuh, serta metode ekstraksi yang digunakan. Oleh karena itu, masih terbuka peluang untuk meneliti bagian tanaman lain dari Kapulaga Jawa (*W. compacta*) yang mungkin memiliki kandungan senyawa aktif berbeda dan berpotensi memberikan efek antifungal yang lebih kuat.

Selain Kapulaga Jawa (*W. compacta*), penelitian terhadap tanaman lain juga menunjukkan potensi antifungal alami yang menjanjikan. Studi terhadap *Carex meyeriana* Kunth menyebutkan bahwa ekstrak tumbuhan tersebut efektif menghambat pertumbuhan *C. albicans* dalam pengujian *in vitro* (Du *et al.*, 2024). Temuan ini memberikan bukti tambahan bahwa tanaman dari berbagai spesies, termasuk yang bukan tanaman tropis, dapat menjadi sumber alternatif antifungal alami. Aktivitas antifungal yang dihasilkan umumnya berkaitan dengan kandungan senyawa aktif seperti flavonoid, fenol, dan saponin, yang dapat mengganggu fungsi membran sel dan biosintesis ergosterol pada jamur. Berdasarkan hasil-hasil tersebut, penting untuk terus mengeksplorasi tanaman yang memiliki kandungan senyawa aktif yang berpotensi antifungal. Salah satu kandidat yang relevan untuk dikaji lebih lanjut adalah air sadapan batang Kapulaga Jawa (*W. compacta*) yang kemungkinan mengandung senyawa larut air seperti fenol dan flavonoid dengan aktivitas antijamur yang berbeda dari minyak esensial buahnya. Penelitian terhadap bagian batang ini diharapkan dapat memberikan pemahaman baru tentang potensi antifungal alami dari tanaman *W. compacta* terhadap *C. albicans*, serta membuka peluang pengembangan bahan alami yang dapat digunakan sebagai alternatif terapi untuk mengatasi masalah resistensi terhadap antifungal sintetis.

2.1.5 Kapulaga Jawa (*W. compacta*)

Kapulaga Jawa, yang kini memiliki nama ilmiah *Wurfbainia compacta* (Sol. ex Maton) Skornick. & A.D. Poulsen, sebelumnya dikenal sebagai *Amomum compactum* Sol. ex Maton. *W. compacta* tumbuh optimal pada ketinggian 300–400

meter di atas permukaan laut, dengan curah hujan yang stabil sepanjang tahun (Suhartini *et al.*, 2021). Kondisi lingkungan tersebut sangat mendukung pertumbuhan dan produktivitas, sehingga *W. compacta* banyak dibudidayakan di Indonesia. Pada tanaman ini telah dimanfaatkan secara luas oleh masyarakat sebagai bahan rempah dalam kuliner, ramuan obat tradisional atau jamu, bahan baku produk kosmetik berbasis alami, dan sebagai tanaman hias karena bentuk dan aromanya yang khas. Tanaman ini bersifat tahunan (perennial) dengan bentuk terna setinggi 1–1,5 meter (Gambar 2.1 a). Batangnya berupa batang semu yang tersusun dari pelepah daun, berbentuk silindris dan tumbuh tegak. Batang tua akan mati dan digantikan oleh batang muda yang muncul dari rizoma baru. Buah *W. compacta* tumbuh berkelompok dalam tandan kecil dan pendek yang muncul di permukaan tanah. Setiap tandan berisi sekitar 10–20 butir buah (Gambar 2.1 e). Daunnya berwarna hijau, berbentuk runcing di pangkal, dengan ukuran panjang 25–35 cm dan lebar 10–12 cm, serta memiliki pertulangan menyirip (Gambar 2.1 d). Dalam satu rumpun, biasanya terdapat 2-5 batang semu yang tumbuh dari rizoma (Gambar 2.1 b). Buah *W. compacta* tergolong buah sejati dengan bentuk hampir bulat telur dan memiliki tiga alur membujur yang membagi permukaannya menjadi tiga bagian. Ukurannya berdiameter 8–11 mm, dengan kulit berwarna kuning muda hingga kecoklatan. Setiap buah memiliki tiga ruang yang dipisahkan oleh sekat (septum), dan masing-masing ruang berisi dua deret biji berwarna coklat kemerahan saat matang. Biji berbentuk poligonal tumpul, diselimuti selaput tipis berwarna putih, dan mengeluarkan aroma khas yang kuat dan aromatik (Abdurahim *et al.*, 2022; Sukarsa *et al.*, 2024).



Gambar 2.2 Morfologi Kapulaga Jawa: a) Habitus; b) Rhizoma; c) Batang; d) Daun; e) Buah.

Sumber: Dokumentasi Pribadi

Berdasarkan hasil penelitian filogenetik molekuler oleh de Boer *et al.*, (2018), terjadi perubahan dalam klasifikasi taksonomi yang memindahkan spesies ini dari genus *Amomum* ke genus *Wurfbainia*. Oleh karena itu, penamaan ilmiah yang digunakan secara resmi sekarang adalah *Wurfbainia compacta* (Sol. ex Maton) Skornick. & A.D. Poulsen.

Kingdom : Plantae

Division : Tracheophyta

Class : Magnoliopsida

Order : Zingiberales

Family : Zingiberaceae

Genus : *Wurfbainia*

Species : *Wurfbainia compacta* (Sol. ex Maton) Skornick. & A.D Poulsen

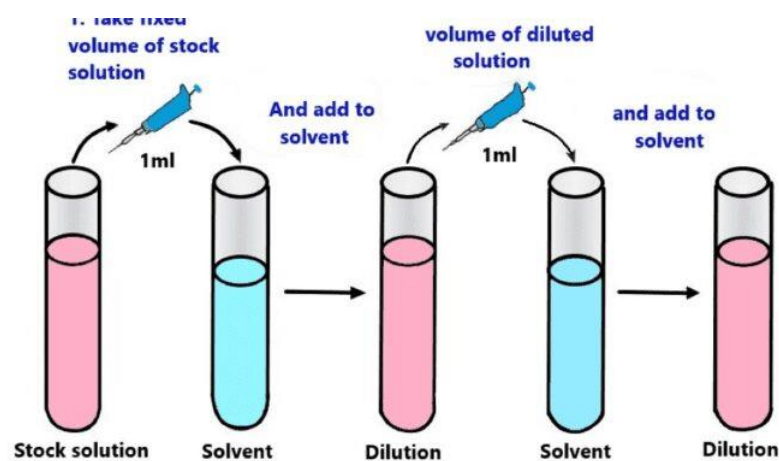
Sumber. *Integrated Taxonomic Information System (ITIS, 2025)*

2.1.6 Uji Kepekaan terhadap Antifungal

2.1.6.1 Metode Dilusi

Metode dilusi, yang mencakup dilusi tabung (*broth microdilution*) dan dilusi agar, merupakan pendekatan standar untuk menentukan *konsentrasi minimal*

inhibitor (MIC) terhadap jamur patogen. Salah satu referensi utama adalah panduan dari (Berkow *et al.*, 2020), yang terindeksasi secara internasional dan membahas metode dilusi tabung secara mendalam, termasuk protokol untuk *Candida* dan *Aspergillus*, dengan pembaruan terkait interpretasi MIC untuk azole dan echinocandin. Artikel ini menekankan akurasi metode dilusi tabung dalam pengujian klinis, didukung oleh data multicenter yang menunjukkan variabilitas rendah antar laboratorium. Selain itu, dibahas dalam artikel oleh Lass-flo (2012) yang membandingkan dilusi agar dengan dilusi tabung, menunjukkan kesesuaian tinggi untuk spesies *Candida* dan memberikan rekomendasi praktis untuk laboratorium dengan sumber daya terbatas. Dapat dilihat pada gambar 2.2 metode dilusi.



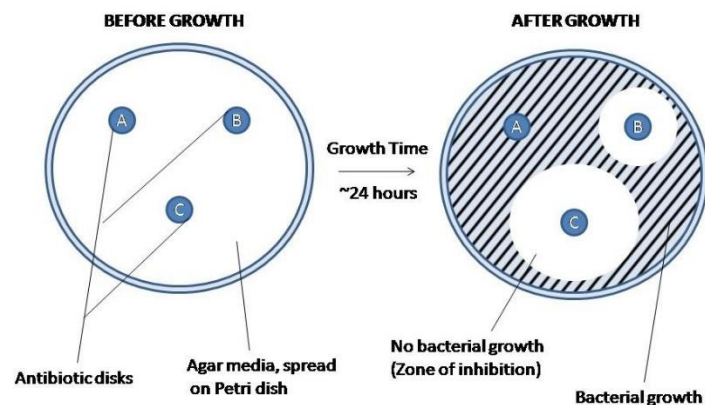
Gambar 2.3 Metode Dilusi

Sumber: Asha, (2023)

2.1.6.2 Metode Difusi Cakram

Metode difusi cakram (*disk diffusion method*) merupakan salah satu pendekatan *in vitro* yang paling umum digunakan dalam menilai kemampuan suatu senyawa, baik dari bahan sintetis maupun ekstrak alami dalam menghambat pertumbuhan mikroorganisme. Prinsip kerja metode ini berlandaskan pada proses penyebaran senyawa aktif secara radial dari cakram kertas steril ke dalam medium agar yang telah diinokulasikan mikroorganisme uji. Difusi senyawa tersebut menghasilkan daerah bening di sekitar cakram, yang dikenal sebagai zona hambat (*inhibition zone*), yang menandakan area tempat pertumbuhan mikroba tertekan atau terhenti akibat aktivitas antimikroba senyawa yang diuji (Webber & Wallace,

2022). Menurut Balouiri *et al.*, (2016), metode ini dikembangkan pertama kali oleh Bauer *et al.* (1966) dan kemudian distandardisasi oleh *Clinical and Laboratory Standards Institute* (CLSI) untuk bakteri dan khamir seperti *C. albicans*. Standarisasi meliputi media yang digunakan (misalnya *Mueller-Hinton Agar* atau *Sabouraud Dextrose Agar* untuk jamur), ukuran cakram (6 mm), kepadatan inokulum ($0,5$ McFarland $\approx 1 \times 10^6$ CFU/mL), suhu inkubasi ($35\text{--}37^\circ\text{C}$), dan waktu inkubasi (24–48 jam). Dapat dilihat pada gambar 2.3 Metode difusi cakram.



Gambar 2.4 Metode difusi cakram

Sumber: European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing (EUCAST), (2025)

2.2 Hasil Penelitian yang Relevan

Adapun penelitian-penelitian sebelumnya yang relevan dengan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Meylani *et al.*, (2026) meneliti potensi senyawa bioaktif dari air sadapan batang Kapulaga Jawa (*W. compacta*) terhadap protein virulensi *C. albicans* menggunakan pendekatan *in silico* molecular docking. Target protein yang dianalisis meliputi adhesin (ALS1 dan ALS3) serta enzim *secreted aspartyl proteinase* (SAP4, SAP5, dan SAP6) yang berperan dalam adhesi, invasi, dan pembentukan biofilm. Hasil GC-MS mengidentifikasi beberapa senyawa aktif, dengan ethyl iso-allocholate menunjukkan afinitas ikatan tertinggi, khususnya terhadap SAP6 ($-8,4$ kcal/mol), menandakan interaksi kompleks ligan–protein yang stabil. Seluruh senyawa memenuhi kriteria Lipinski dan memiliki profil toksisitas rendah berdasarkan analisis ADMET. Secara mekanistik, penghambatan protein ALS berpotensi mengganggu adhesi awal sel jamur,

sedangkan inhibisi SAP dapat menekan proses invasi dan maturasi biofilm. Temuan ini memberikan dasar molekuler bahwa senyawa dalam *W. compacta* berpotensi menghambat faktor virulensi *C. albicans*. Oleh karena itu, penelitian ini relevan sebagai rujukan teoritis untuk mendukung hipotesis bahwa air sadapan batang Kapulaga Jawa (*W. compacta*) berpotensi memiliki aktivitas antifungal terhadap pertumbuhan *C. albicans*.

2. Gholam *et al.*, (2024) melaksanakan penelitian secara *in silico* untuk mengkaji bagaimana senyawa aktif dalam minyak atsiri biji kapulaga (*Elettaria cardamomum*) berinteraksi dengan enzim Sap5 dari *C. albicans*, yang diketahui berperan dalam proses infeksi kandidiasis vulvovaginalis. Hasil analisis penambatan molekuler terhadap 67 senyawa minyak atsiri menunjukkan bahwa geranil asetat, α -terpinil asetat, 1,8-sineol, dan linalool merupakan ligan terbaik, dengan nilai energi bebas ikatan masing-masing -6,78; -6,07; -5,47; dan -5,06 kkal/mol, yang menandakan adanya interaksi kuat dan stabil antara ligan dan reseptor target. Keempat senyawa tersebut diketahui berikatan dengan residu katalitik utama Asp32 dan Asp218 pada sisi aktif enzim Sap5 melalui ikatan hidrofobik dan hidrogen, sehingga memperkuat kestabilan kompleks antara reseptor dan ligan. Selain itu, hasil uji menunjukkan bahwa seluruh ligan uji memenuhi kriteria Lipinski dan tidak memiliki sifat toksik maupun karsinogenik, sehingga aman untuk dikembangkan sebagai kandidat antifungal. Temuan ini memperkuat bukti bahwa komponen utama minyak atsiri *W. compacta* berpotensi sebagai penghambat enzim Sap5, yang memiliki peran penting dalam tingkat virulensi *C. albicans*. Oleh karena itu, penelitian tersebut memberikan dasar ilmiah yang kuat bahwa senyawa aktif dari kapulaga berpotensi digunakan sebagai agen antifungal alami, sekaligus membuka peluang untuk dilakukan uji *in vitro* terhadap air sadapan batang Kapulaga Jawa (*W. compacta*) yang memiliki kandungan senyawa bioaktif serupa, guna menilai efektivitasnya terhadap *C. albicans*.
3. Sisimiyanti (2012) melaksanakan penelitian *in vitro* untuk mengidentifikasi kadar hambat minimal (KHM) dan kadar bunuh minimal (KBM) dari ekstrak biji kapulaga (*Amomum compactum*) terhadap pertumbuhan *C. albicans* dengan

menggunakan metode uji dilusi cair dan padat. Berdasarkan hasil pengujian, konsentrasi 6,25% terbukti menjadi titik hambat minimal yang efektif dalam menekan pertumbuhan *C. albicans*, yang ditunjukkan oleh penurunan tingkat kekeruhan pada larutan uji. Sementara itu, konsentrasi 12,5% ditetapkan sebagai nilai KBM, ditandai dengan tidak ditemukannya koloni pada media *Sabouraud* setelah proses inkubasi selama 90 menit pada suhu 37°C. Tidak terbentuknya hifa sejati pada kondisi tersebut mengindikasikan gangguan pada fase vegetatif jamur. Hasil ini menguatkan dugaan bahwa senyawa aktif yang terkandung dalam ekstrak kapulaga, seperti 1,8-sineol dan terpinil asetat, berperan dalam menghambat pembentukan hifa serta merusak struktur dinding sel *C. albicans*. Dengan demikian, penelitian ini memberikan bukti ilmiah yang mendukung potensi ekstrak kapulaga sebagai agen antijamur alami melalui mekanisme penghambatan pertumbuhan dan diferensiasi sel jamur patogen.

4. Masfufatun *et al.*, (2025) melakukan penelitian untuk menilai kemampuan ekstrak etanol buah kapulaga (*Amomum compactum* Soland ex Maton) dalam menghambat pertumbuhan biofilm *C. albicans*. Penelitian ini menggunakan rancangan eksperimental murni dengan metode microtiter plate biofilm assay, di mana pengukuran dilakukan menggunakan nilai *Optical Density* (OD) pada panjang gelombang 595 nm. Hasilnya menunjukkan bahwa ekstrak etanol Kapulaga Jawa (*W. compacta*) mampu menekan pembentukan biofilm *C. albicans* secara signifikan ($p < 0,05$). Konsentrasi 50% memberikan efek penghambatan tertinggi, sedangkan nilai *Minimum Biofilm Inhibitory Concentration* (MBIC₅₀) tercatat sebesar 21,768%. Efektivitas ini berkaitan dengan adanya senyawa aktif seperti flavonoid, alkaloid, saponin, terpenoid, dan tanin, yang diketahui dapat merusak membran sel jamur, menghambat komunikasi antar sel (*quorum sensing*), serta mengganggu proses sintesis dinding sel dan asam nukleat. Akibatnya, proses adhesi sel jamur dan pembentukan matriks biofilm menjadi terganggu, sehingga pertumbuhan biofilm dapat dihambat secara optimal. Temuan dari penelitian ini memberikan bukti ilmiah kuat bahwa Kapulaga Jawa (*W. compacta*) memiliki potensi antifungal dan antibiofilm yang efektif terhadap *C. albicans*. Dengan demikian,

penelitian ini dapat dijadikan rujukan pembandingan dan dasar teoritis untuk mendukung hipotesis bahwa air sadapan batang Kapulaga Jawa (*W. compacta*) berpotensi memberikan efek antifungal terhadap *C. albicans*.

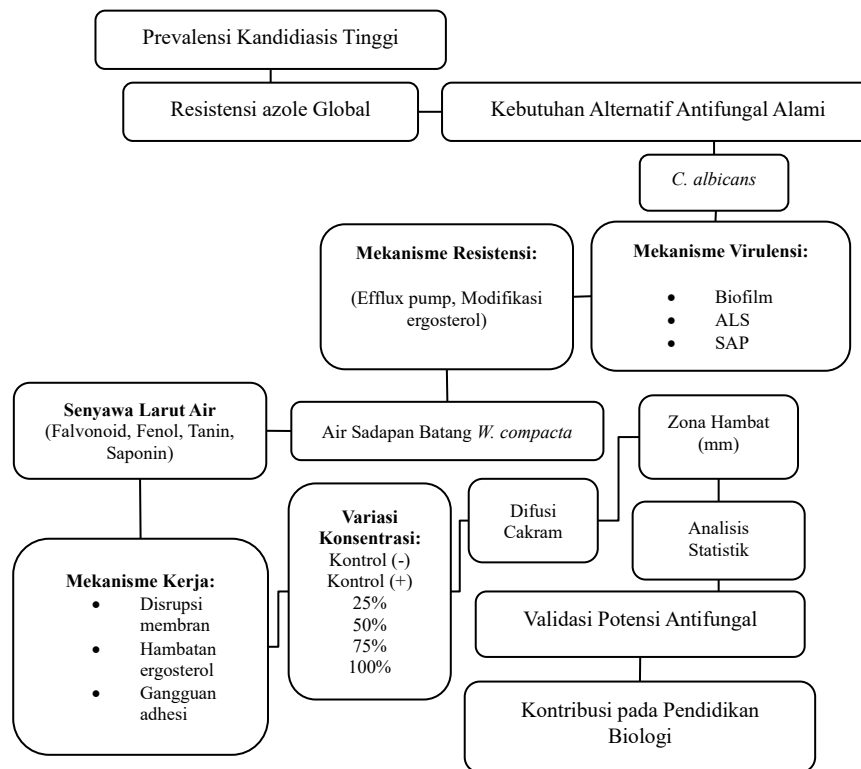
5. Khusnul *et al.*, (2019), meneliti potensi ekstrak etanol daun kapulaga Jawa (*Amomum compactum*) terhadap jamur *Trichophyton rubrum* menggunakan metode difusi cakram (*Kirby-Bauer*). Ekstrak diuji dengan variasi konsentrasi mulai dari 10%, 20%, hingga 100%, dengan ketokonazol 2% sebagai kontrol positif dan akuades sebagai kontrol negatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semua konsentrasi memberikan efek hambatan yang kuat terhadap pertumbuhan jamur, di mana zona hambat terbesar mencapai 72 mm pada konsentrasi 100%, bahkan melebihi kontrol positif (48 mm). Aktivitas antifungal yang tinggi ini diduga berasal dari kandungan flavonoid, tanin, dan saponin dalam daun kapulaga yang mampu merusak dinding sel dan menghambat pertumbuhan hifa jamur. Penelitian ini membuktikan bahwa bagian daun kapulaga memiliki senyawa aktif yang efektif sebagai antifungal alami.
6. Khusnul & Indri, (2019), mengevaluasi potensi ekstrak etanol daun kapulaga Jawa terhadap pertumbuhan jamur *Microsporum gypseum* secara *in vitro*. Penelitian ini menggunakan metode difusi cakram pada media *Mueller Hinton Agar* dengan konsentrasi ekstrak 10% hingga 100%. Hasil pengujian menunjukkan adanya peningkatan zona hambat seiring bertambahnya konsentrasi ekstrak, dengan nilai 10 mm pada 10% dan meningkat hingga 64 mm pada 100%. Daya hambat tertinggi tersebut termasuk kategori sangat kuat dan hampir setara dengan kontrol positif ketokonazol 2% yang menghasilkan zona hambat 40 mm. Kandungan flavonoid, saponin, dan tanin juga disebut berperan sebagai komponen utama yang menyebabkan aktivitas antifungal, dengan mekanisme merusak membran sel dan menghambat pembentukan protein struktural jamur.

2.3 Kerangka Konseptual

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh meningkatnya prevalensi infeksi *C. albicans* serta munculnya resistensi terhadap antifungal sintetis, khususnya

golongan azole, yang terjadi melalui mekanisme seperti overekspresi pompa efflux, modifikasi biosintesis ergosterol, mutasi gen target, serta peningkatan kemampuan pembentukan biofilm. Kondisi tersebut menyebabkan efektivitas terapi konvensional menurun dan mendorong perlunya eksplorasi alternatif antifungal berbasis bahan alam. Indonesia sebagai negara megabiodiversitas memiliki potensi tanaman obat dari famili Zingiberaceae yang diketahui mengandung senyawa aktif seperti flavonoid, fenol, tanin, saponin, dan terpenoid yang memiliki aktivitas antimikroba. Kapulaga Jawa (*W. compacta*) telah dilaporkan memiliki aktivitas antifungal pada bagian daun dan buahnya, namun air sadapan batangnya belum banyak diteliti, sehingga terdapat celah penelitian yang relevan untuk dieksplorasi.

Secara konseptual, air sadapan batang kapulaga Jawa (*W. compacta*) diduga mengandung senyawa aktif larut air yang berpotensi mengganggu integritas membran sel jamur, menghambat sintesis ergosterol, serta menekan faktor virulensi seperti adhesin dan enzim protease pada *C. albicans*. Gangguan terhadap struktur dan fungsi sel tersebut diperkirakan menyebabkan penurunan viabilitas dan pertumbuhan koloni jamur. Dalam penelitian ini, hubungan tersebut diuji melalui variasi konsentrasi air sadapan batang (25%, 50%, 75%, dan 100%) sebagai variabel bebas, dengan diameter zona hambat sebagai indikator aktivitas antifungal yang diukur menggunakan metode difusi cakram. Semakin tinggi konsentrasi air sadapan, semakin besar kadar senyawa aktif yang berdifusi pada media, sehingga diharapkan menghasilkan zona hambat yang lebih luas. Dengan demikian, kerangka konseptual penelitian ini menghubungkan permasalahan resistensi antifungal, potensi senyawa aktif kapulaga Jawa (*W. compacta*), mekanisme biologis penghambatan pertumbuhan *C. albicans*, serta implikasinya dalam pengembangan alternatif antifungal alami dan suplemen bahan ajar biologi berbasis riset. Adapun kerangka konseptual untuk penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.5 Kerangka Konseptual Penelitian
Sumber: Dokumentasi Pribadi

2.4 Hipotesis Penelitian

Hipotesis dalam penelitian ini adalah:

H₀: Tidak terdapat pengaruh signifikan antara variasi konsentrasi air sadapan batang *W. compacta* terhadap aktivitas antifungal.

H_a: Terdapat pengaruh yang signifikan antara variasi konsentrasi air sadapan batang *W. compacta* terhadap aktivitas antifungal.