

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kehilangan gigi merupakan masalah kesehatan gigi dan mulut yang banyak dijumpai dan dapat menurunkan fungsi mastikasi, fonetik, estetika, serta kualitas hidup pasien. Upaya rehabilitasi yang umum dilakukan adalah penggunaan gigi tiruan, dimana basis gigi tiruan memegang peranan penting karena berfungsi sebagai penopang elemen gigi tiruan sekaligus berinteraksi langsung dengan jaringan lunak rongga mulut. Tingginya prevalensi denture stomatitis pada pemakai gigi tiruan menunjukkan bahwa karakteristik bahan basis berperan penting dalam keberhasilan perawatan serta pencegahan komplikasi jaringan lunak.

Resin nilon termoplastik merupakan salah satu basis gigi tiruan yang umum digunakan. Keunggulan dari resin nilon termoplastik yaitu tergolong aman untuk pasien yang memiliki alergi terhadap logam maupun resin akrilik. Selain itu, resin nilon termoplastik memiliki elastisitas yang lebih tinggi dibandingkan resin akrilik polimerisasi panas, memberikan tampilan estetik yang baik karena warnanya menyerupai jaringan gingiva, serta dapat dibuat dengan ketebalan yang lebih tipis sehingga menghasilkan gigi tiruan yang lebih ringan dan nyaman digunakan (Rudy & Rahmawati, 2023). Resin nilon termoplastik bersifat lentur, tidak mudah retak, dan tidak menggunakan menggunakan cangkolan logam (Putri & Wahyuni, 2015).

Selain keunggulan tersebut, resin nilon termoplastik memiliki kelemahan antara lain biaya pembuatannya yang relatif tinggi, mudah terkontaminasi oleh bakteri, serta cenderung untuk mengalami perubahan warna seiring waktu (Putri & Wahyuni, 2015). Resin nilon termoplastik memiliki kemampuan menyerap air yang cukup tinggi yang dapat meningkatkan kekasaran permukaan basis, sehingga berpotensi memperbesar risiko kontaminasi mikroorganisme (Pasaribu & Dahar, 2024). Permukaan yang lembab mendukung pembentukan biofilm lapisan pelindung tempat bakteri hidup lebih tahan terhadap lingkungan keras. Kelembaban tinggi mempercepat metabolisme dan reproduksi mikroba.

Permukaan plat gigi tiruan yang kasar dan berpori dapat mempermudah penumpukan sisa makanan serta mikroorganisme. Akumulasi plak dan residu makanan tersebut dapat memicu reaksi dari mikroorganisme yang ada di membran mukosa rongga mulut. Salah satunya adalah *Candida albicans*, yang merupakan spesies jamur yang paling sering ditemukan pada rongga mulut, baik pada kondisi sehat maupun terinfeksi. Jamur ini terdapat pada lebih dari 80% isolat jamur di mulut (Balafif, *et al.*, 2024). Pada pengguna gigi tiruan, prevalensi *Candida albicans* dapat meningkat hingga 60-100%. Hal ini terjadi karena penggunaan gigi tiruan dapat mengurangi aliran oksigen dan saliva ke jaringan di bawahnya, sehingga menciptakan lingkungan mikro yang bersifat asam dan anaerob, yang mendukung pertumbuhan *Candida albicans* (Jelita, *et al.*, 2021).

Bahan basis gigi tiruan memiliki sejumlah keterbatasan, salah satunya adalah tidak memiliki sifat antimikroba secara alami. Oleh karena itu, upaya

modifikasi bahan basis melalui penambahan agen antibakteri atau antijamur menjadi strategi penting untuk mengurangi kolonisasi mikroorganisme dan potensi terjadinya denture stomatitis pada pemakai gigi tiruan. Beberapa bahan telah terbukti membantu mengurangi kolonisasi bakteri dan juga meningkatkan sifat mekanis bahan secara keseluruhan. Bahan yang telah membantu meningkatkan gigi tiruan, terutama sifat biologisnya, meliputi *Titanium Dioksida* (TiO₂), nanopartikel *Grafena-Perak* (G-Ag NP), nanopartikel Perak (NAg), grafena, *2-metakriloiloksietil fosforilkolin* (MPC) dan *dimetilaminoheksadesil metakrilat* (DMAHDM). Salah satu pendekatan yang digunakan dalam modifikasi material adalah dengan menambahkan zat antimikroba, seperti nanopartikel perak (Mohd Farid, *et al.*, 2022).

Secara umum, sintesis nanopartikel dapat dilakukan melalui dua pendekatan utama, yaitu metode *top down* (secara fisika) dan *bottom up* (secara kimia). Namun, kedua metode tersebut umumnya melibatkan penggunaan bahan kimia dalam jumlah besar, yang tidak hanya berdampak negatif terhadap lingkungan tetapi juga memerlukan biaya tinggi. Oleh karena itu, dikembangkanlah metode alternatif berbasis konsep *green chemistry*, yaitu *green synthesis* nanopartikel. Metode ini lebih ramah lingkungan, ekonomis, serta menghasilkan produk yang lebih aman digunakan, termasuk dalam bidang kesehatan dan biomedis, karena meminimalkan bahkan menghilangkan potensi pencemaran lingkungan (Taba *et al.*, 2019).

Berbagai jenis tanaman diketahui mengandung senyawa kimia tertentu yang dapat berfungsi sebagai agen pereduksi. Daun kemangi mengandung

berbagai senyawa aktif seperti minyak atsiri, flavonoid, tanin, alkaloid, dan saponin yang memiliki aktivitas sebagai antijamur. Minyak atsiri pada daun kemangi mampu menghambat beberapa bakteri dan jamur seperti *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Bacillus cereus*, *Pseudomonas fluorescens*, *Candida albicans*, *Streptococcus alfa*, dan *Bacillus subtilis* serta merupakan kandungan yang paling utama dan senyawa aktif terbesar yaitu 43,7%. Minyak atsiri bekerja dengan mengganggu proses pembentukan membran sel dan dinding sel jamur, sehingga pembentukan sel tidak berlangsung secara sempurna (Nasution *et al.*, 2025).

Flavonoid dalam daun kemangi berperan sebagai antioksidan sekaligus antijamur dengan mekanisme menghambat sintesis asam nukleat pada jamur. Selain itu, flavonoid juga mencegah pertumbuhan jamur dengan menghambat fungsi membran sitoplasma serta mengganggu metabolisme energi sel jamur, yang kemudian memicu gangguan pertukaran cairan di dalam sel. Sebagai senyawa golongan fenol, flavonoid dapat menghambat pertumbuhan jamur dengan mencegah pembentukan dinding sel atau merusak dinding sel yang telah terbentuk (Nasution *et al.*, 2025).

Saat ini, banyak penelitian mengenai potensi daun kemangi sebagai bahan antijamur terutama *Candida albicans*. Penelitian yang dilakukan oleh Nasution dan rekan-rekannya (2025) menunjukkan bahwa terjadi penurunan jumlah *Candida albicans* pada perendaman basis gigi tiruan resin akrilik polimerisasi panas yang direndam dalam ekstrak daun kemangi 15%, 20%, 25%, dan klorheksidin. Selain itu, studi oleh Tarsikah dan rekan-rekannya pada tahun 2022 juga mengungkapkan bahwa ekstrak daun kemangi

memiliki potensi antijamur terhadap *Candida albicans* dengan laju kematian minimal (MBC) pada konsentrasi 35%.

Penambahan bahan lain ke dalam basis gigi tiruan perlu diperhatikan konsentrasinya agar tidak menimbulkan resiko. Penambahan nanopartikel perak yang umumnya digunakan untuk antibakteri sebanyak 0,8% dan 1,6% tidak mempengaruhi kekuatan mekanisnya (Köroğlu *et al.*, 2016). Selain itu, penelitian menunjukkan bahwa penambahan ekstrak daun kemangi (*Ocimum basilicum*) konsentrasi 0.5%, 1%, and 2% ke dalam RMGIC dapat meningkatkan sifat antimikrobanya (Tanzil, 2025). Berdasarkan uraian tersebut, penulis tertarik untuk meneliti pengaruh penambahan nanopartikel perak sintesis daun kemangi konsentrasi 0,5%, 1%, dan 1,5% terhadap penurunan jumlah koloni *Candida albicans* pada basis resin nilon termoplastik.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh penambahan nanopartikel perak sintesis daun kemangi terhadap penurunan jumlah koloni *Candida albicans* pada basis nilon termoplastik?
2. Bagaimana pengaruh perbedaan konsentrasi 0,5%, 1% dan 1,5% nanopartikel perak sintesis daun kemangi terhadap penurunan jumlah koloni *Candida albicans* pada basis resin nilon termoplastik?

1.3 Tujuan Penelitian

1.3.1 Tujuan Umum

Mengetahui pengaruh penambahan nanopartikel perak hasil sintesis daun kemangi terhadap penurunan jumlah koloni *Candida albicans* pada bahan basis gigi tiruan nilon termoplastik.

1.3.2 Tujuan Khusus

Mengetahui pengaruh perbedaan konsentrasi 0,5%, 1%, dan 1,5% nanopartikel perak sintesis daun kemangi terhadap penurunan jumlah koloni *Candida albicans* pada basis resin nilon termoplastik.

1.4 Manfaat Penelitian

1.4.1 Manfaat Akademik

- a. Memberikan pengetahuan tentang nanopartikel perak yang didapat dari sintesis daun kemangi.
- b. Memberikan pengetahuan bahwa nanopartikel perak sintesis daun kemangi dapat digunakan sebagai bahan tambahan antimikroba basis resin nilon termoplastik
- c. Sebagai dasar penelitian selanjutnya.

1.4.2 Manfaat Praktis

Menyediakan informasi bahwa nanopartikel perak sintesis daun kemangi dapat digunakan sebagai bahan tambahan basis resin nilon termoplastik. Penambahan nanopartikel perak tersebut diharapkan dapat

meningkatkan sifat antimikroba basis gigi tiruan sehingga membantu mengurangi risiko kolonisasi mikroorganisme pada permukaan gigi tiruan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Basis Gigi Tiruan Lepas

2.1.1 Definisi Basis Gigi Tiruan Lepas

Basis gigi tiruan lepasan adalah bagian dari gigi tiruan yang menjadi penopang gigi tiruan dan menyalurkan beban kunyah ke jaringan pendukung di bawahnya, seperti mukosa dan tulang alveolar. Basis berperan penting dalam distribusi beban kunyah agar tekanan tidak hanya terfokus pada gigi pendukung, melainkan tersebar secara merata ke jaringan di sekitarnya. Basis ini juga berfungsi menahan gigi tiruan pada posisinya, memberikan stabilitas, serta mendukung estetika jaringan lunak di sekitar mulut (Zarb et al., 2021). Menurut *The Glossary of Prosthodontic Terms* (2020), basis gigi tiruan (*denture base*) didefinisikan sebagai “*the part of a denture that rests on the foundation tissues and to which the artificial teeth are attached.*” Dengan kata lain, basis merupakan struktur utama yang menghubungkan gigi tiruan dengan jaringan pendukung rongga mulut.

Kualitas basis, baik dari segi desain, adaptasi terhadap jaringan pendukung, maupun bahan yang digunakan, sangat mempengaruhi keberhasilan penggunaan gigi tiruan (Alqutaibi et al., 2023). Adaptasi yang baik antara basis dan jaringan pendukung akan meningkatkan stabilitas, retensi, dan kenyamanan penggunaan, sedangkan desain yang kurang tepat dapat menimbulkan iritasi, resorpsi tulang alveolar, atau gangguan fungsi mastikasi.

2.1.2 Syarat Basis Gigi Tiruan Lepas

Syarat ideal bahan basis gigi tiruan mencakup sifat fisik, mekanik, biologis, dan estetika. Bahan basis gigi tiruan harus bersifat biokompatibel, non-irritan, dan non-toksi, serta memiliki stabilitas dimensi, kekuatan mekanik, konduktivitas termal yang baik, serta kemampuan pewarnaan untuk menyesuaikan dengan warna jaringan mukosa oral (Alqutaibi *et al.*, 2023).

Berdasarkan aspek fisika, bahan basis gigi tiruan harus memiliki stabilitas dimensi yang tinggi sehingga tidak mengalami perubahan bentuk akibat panas dan kelembapan, serta konduktivitas termal yang memadai agar pasien tetap dapat merasakan suhu makanan dan minuman secara normal (Alqutaibi *et al.*, 2023). Aspek mekanik menuntut bahan memiliki kekuatan lentur yang cukup untuk menahan beban mastikasi dan tekanan oklusal, ketangguhan terhadap benturan agar tidak mudah patah, serta ketahanan terhadap kelelahan material untuk menunjang penggunaan jangka panjang (Sahai & Jalan, 2025; Falahchai *et al.*, 2023; Alqutaibi *et al.*, 2023). Dari aspek biologis, bahan basis gigi tiruan harus bersifat biokompatibel, non-toksik, tidak mengiritasi jaringan lunak, tidak menimbulkan reaksi alergi, serta idealnya memiliki sifat antibakteri atau antijamur untuk menghambat kolonisasi mikroorganisme di rongga mulut (Alqutaibi *et al.*, 2023). Aspek estetika juga penting, di mana bahan harus memiliki warna yang menyerupai jaringan gingiva serta permukaan yang halus agar mudah dibersihkan dan tidak mudah menumpuk plak atau noda (Alouthah *et al.*, 2025).

2.1.3 Jenis Bahan Basis Gigi Tiruan Lepas

Bahan basis gigi tiruan yang ideal harus memenuhi persyaratan cairan oral yaitu tidak beracun, tidak menyebabkan iritasi, tidak larut dan tidak menyerap, mempunyai sifat fisik dan mekanik yang memadai, mempunyai estetika yang baik dan mudah untuk dibuat. Beberapa komponen basis gigi tiruan dapat terbuat dari bahan akrilik, logam akrilik dan nilon termoplastik. Basis gigi tiruan yang telah dikembangkan sebagai basis alternatif gigi tiruan akrilik adalah bahan nilon termoplastik. Beberapa bahan yang digunakan basis gigi tiruan antara lain (Susanto & Arsanti, 2023):

1. Akrilik

Resin akrilik masih menjadi bahan yang digunakan dalam kedokteran gigi hingga saat ini. Lebih dari 95% basis gigi tiruan terbuat dari resin akrilik. Resin akrilik polimetil metakrilat jenis *heat cured* umumnya digunakan sebagai bahan dasar basis gigi tiruan. Resin akrilik digunakan sebagai bahan dasar gigi tiruan karena tidak beracun, tidak menyebabkan iritasi, tidak larut dalam cairan mulut, estetik, mudah ditangani dan diperbaiki, serta memiliki perubahan dimensi yang rendah.

2. Logam

Bahan logam dinilai lebih baik daripada gigi tiruan akrilik karena lebih sempit, tipis, kaku, kuat dan memungkinkan membuat desain yang benar. Namun gigi tiruan yang terbuat dari bahan logam memiliki beberapa kelemahan yaitu penampilannya buruk karena logamnya terlihat dan proses pembuatannya rumit dan mahal harganya.

3. Termoplastik

Resin termoplastik adalah bahan yang melunak dan mudah dicetak ketika dipanaskan melebihi temperatur transisi kaca (T_g), kemudian akan mengeras dengan pendinginan. Namun, pada pemanasan ulang, bahan melunak kembali serta dapat dibentuk kembali bila diperlukan, sebelum mengeras ketika temperatur menurun. Siklus ini dapat kembali berulang. Resin termoplastik dapat dicampur, dan biasanya larut dalam pelarut organik. Kebanyakan bahan plastik yang digunakan dalam kedokteran gigi termasuk kelompok termoplastik.



Sumber: Roedentallab (2025)

2.2 Resin Nilon Termoplastik

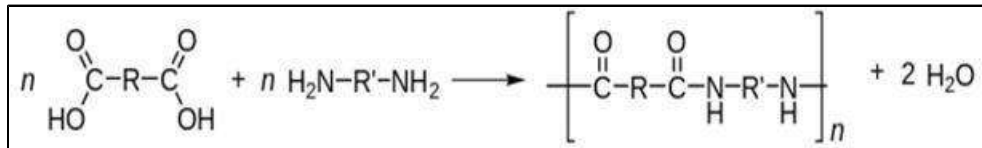
Resin nilon termoplastik adalah salah satu bahan untuk pembuatan basis gigi tiruan. Resin nilon termoplastik merupakan bahan polimer fleksibel yang digunakan sebagai alternatif resin akrilik pada basis gigi tiruan lepasan (Singh *et al.*, 2021).

2.2.1 Definisi Resin Nilon Termoplastik

Resin nilon termoplastik merupakan kopolimer kondensasi yang dibentuk dari reaksi asam diamine dan asam dibasic/asam dikarboksilat.

Elemen kimia yang terlibat adalah karbon, hydrogen, nitrogen, dan oksigen.

Reaksi polimerisasi kimianya adalah sebagai berikut:



Gambar 2.1 Reaksi Polimerisasi Nilon Termoplastik

Resin nilon termoplastik memiliki kekuatan fisik, ketahanan panas dan kimia yang tinggi. Dilihat dari sudut pandang teknik, nylon merupakan material yang serbaguna berdasarkan karakteristiknya. Karakteristik nilon termoplastik yang unggul dalam keseimbangan kekuatan, mudah dibentuk (untuk meningkatkan kekakuan dan ketahanan aus-nya), dan ketahanan panas, membuat nilon termoplastik merupakan kandidat yang paling tepat untuk menggantikan *dental appliance* dari logam. Material nilon termoplastik dalam bidang kedokteran gigi banyak digunakan untuk penunjang jaringan pada gigi tiruan sebagian dikarenakan fleksibilitasnya. Nilon termoplastik merupakan material semi-translusen dan memberikan estetis yang unggul sebagai material penunjang pada gigi tiruan sebagian lepasan (Pasaribu & Dahar, 2024).

Resin nilon termoplastik merupakan basis kedokteran gigi yang fleksibel dan memiliki sifat estetik yang khas. Basis kedokteran gigi ini memiliki derajat fleksibilitas dan stabilitas yang sangat baik dan dapat dibuat lebih tipis dengan ketebalan tertentu yang telah direkomendasikan sehingga sangat fleksibel, ringan, dan tidak mudah patah. Contoh produk dari nilon termoplastik adalah: Bio-Plast Resin®, Valplast®, Lucitone FRS®, Flexite® Supreme.

2.2.2 Sifat Resin Nilon Termoplastik

Resin nilon termoplastik merupakan basis kedokteran gigi yang fleksibel dan memiliki sifat estetik yang khas. Basis kedokteran gigi ini memiliki derajat fleksibilitas dan stabilitas yang sangat baik dan dapat dibuat lebih tipis dengan ketebalan tertentu yang telah direkomendasikan sehingga sangat fleksibel, ringan, dan tidak mudah patah. Sifat elastis nilon termoplastik mencegah gigi tiruan meneruskan tekanan berlebihan ke gigi dan jaringan pendukungnya, sehingga meminimalkan saat memakai gigi tiruan. Pegangan yang memberikan cengkeraman yang lebih kuat. Elastisitas gigi tiruan nilon termoplastik memberikan solusi bagi pasien yang mengalami kecelakaan atau luka bakar yang menyebabkan terbentuknya jaringan parut di sekitar mulut (Fitri *et al.*, 2020).

2.2.3 Keunggulan dan Kelemahan Resin Nilon Termoplastik

Resin nilon termoplastik memberikan keunggulan dalam hal estetika dan ketahanan terhadap fraktur. Warna bahan yang menyerupai jaringan gingiva alami menjadikannya memiliki nilai estetika tinggi, sementara sifat elastisnya mampu mengurangi risiko patah akibat tekanan atau benturan (Al-Harbi *et al.*, 2021). Selain itu, bahan ini juga memiliki adaptabilitas yang baik terhadap jaringan lunak mulut, sehingga cocok digunakan pada pasien dengan kondisi mukosa yang tipis atau sensitif terhadap tekanan (Prado *et al.*, 2023).

Resin nilon termoplastik memiliki beberapa kelemahan berupa tingkat penyerapan air dan pigmen yang tinggi, yang dapat menyebabkan perubahan

warna serta pertumbuhan mikroorganisme seperti *Candida albicans* pada permukaannya (Singh *et al.*, 2021). Stabilitas dimensinya juga relatif rendah terhadap panas, sehingga dapat mengalami deformasi apabila terpapar suhu tinggi selama proses pembersihan atau sterilisasi.

2.2.4 Jenis Resin Nilon Termoplastik

Berdasarkan struktur kimia dan sifatnya, resin nilon termoplastik dapat diklasifikasikan menjadi poliamida murni, poliamida kopolimer, dan poliamida yang dimodifikasi. Klasifikasi ini bertujuan untuk membedakan karakteristik fisis, mekanik, dan klinis masing-masing jenis resin nilon yang digunakan dalam pembuatan basis gigi tiruan lepasan (Craig & Powers, 2002).

1. Poliamida murni (*pure polyamide*) merupakan struktur polimer dengan ikatan amida berulang yang memberikan fleksibilitas tinggi dan ketahanan terhadap fraktur, sehingga meningkatkan kenyamanan pasien. Namun, poliamida murni memiliki kelemahan berupa penyerapan air yang relatif tinggi dan stabilitas dimensi yang lebih rendah dibandingkan resin akrilik polimerisasi panas (Anusavice, 2013)
2. Poliamida kopolimer (*copolyamide*) dikembangkan dari kombinasi dua atau lebih monomer poliamida dengan tujuan meningkatkan sifat mekanik dan stabilitas bahan. Jenis ini menunjukkan keseimbangan yang lebih baik antara fleksibilitas dan kekuatan, serta memiliki penyerapan air dan perubahan warna yang lebih rendah dibandingkan

poliamida murni. Oleh karena itu, copolyamide dinilai lebih sesuai untuk penggunaan klinis jangka panjang (Sakaguchi & Powers, 2012).

3. Poliamida yang dimodifikasi (*modified polyamide*) merupakan resin nilon termoplastik yang telah ditambahkan bahan pengisi atau aditif tertentu untuk meningkatkan performa fisis, mekanik, maupun biologisnya. Modifikasi ini bertujuan untuk meningkatkan ketahanan aus, kekuatan lentur, serta menurunkan adhesi mikroorganisme pada permukaan basis gigi tiruan. Jenis ini banyak dikembangkan dalam penelitian terbaru sebagai upaya meningkatkan kualitas dan umur pakai gigi tiruan lepasan (Sakaguchi & Powers, 2012).

2.3 *Candida albicans*

2.3.1 Definisi *Candida albicans*

Candida albicans adalah suatu jamur yang berbentuk sel ragi lonjong, bertunas, berukuran $2-3 \times 4-6 \mu\text{m}$ yang menghasilkan pseudohifa baik dalam biakan maupun dalam jaringan dan eksudat. *Candida albicans* bersifat dimorfik, selain ragi dan pseudohifa, *Candida albicans* juga dapat menghasilkan hifa sejati. *Candida albicans* tumbuh optimal pada suhu $28^\circ\text{C} - 37^\circ\text{C}$ dengan pH 4,5 – 5,5 (Çolak *et al.*, 2020). Pertumbuhan dan proses metabolisme jamur *Candida albicans* memerlukan karbohidrat sebagai sumber karbon.

2.3.2 Klasifikasi *Candida albicans*

Secara taksonomi, *Candida albicans* diklasifikasikan sebagai berikut (Alvianita, 2021):

Kingdom : *Fungi*

Phylum : *Ascomycota*

Class : *Saccharomycetes*

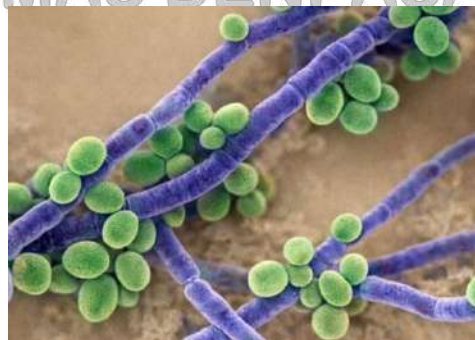
Order : *Saccharomycetales*

Family : *Saccharomycetaceae*

Genus : *Candida*

Species : *Candida albicans*

Candida albicans dikategorikan sebagai jamur dimorfik karena memiliki kemampuan bertransisi dari bentuk ragi (*yeast*) menjadi bentuk hifa (*hyphae*). Bentuk ragi umumnya berperan dalam proses kolonisasi pada permukaan, sedangkan bentuk hifa berfungsi dalam penetrasi dan invasi jaringan. Selain itu, *Candida albicans* juga dapat membentuk blastospora yang berkontribusi terhadap penyebaran infeksi. Sifat dimorfisme ini merupakan salah satu faktor virulensi penting yang memperkuat potensi patogenik *Candida albicans* dalam berbagai kondisi tubuh manusia.



Gambar 2.2 *Candida albicans* pada fase yeast dan hifa (CDC, 2023)

2.3.3 Morfologi dan Sifat Biologis *Candida albicans*

Candida albicans pada media Sabouraud Dextrose Agar (SDA) berbentuk bulat dengan permukaan sedikit cembung, halus, licin dan kadang sedikit berlipat-lipat terutama pada koloni yang telah tua (Ekawati *et al.*, 2023). Warna koloni putih kekuningan dan berbau asam seperti aroma tape. *Candida albicans* dapat tumbuh di dasar tabung dalam media cair seperti glucose yeast atau extract peptone.

Jamur *Candida albicans* memiliki pseudohifa dengan cluster pada sekitar blastokonidia bulat, bersepta Panjang dan memiliki ukuran 3-7 x 3-14 μm . *Candida albicans* membentuk hifa semu atau pseudohifa yang sebenarnya merupakan rangkaian spora jamur atau blastospora yang bercabang, tetapi dapat juga membentuk hifa sejati.

2.3.4 Peran klinis *Candida albicans*

Candida albicans merupakan spesies jamur oportunistik yang secara normal dapat ditemukan sebagai flora komensal di rongga mulut, saluran pencernaan, dan saluran genital. Pada keadaan normal, pertumbuhan *Candida albicans* dikendalikan oleh sistem imun tubuh dan interaksi mikrobiota lain. Namun, pada keadaan tertentu seperti penurunan sistem imun, penggunaan antibiotik jangka panjang, atau adanya faktor predisposisi lokal di rongga mulut, jamur ini dapat berubah menjadi patogen dan menimbulkan infeksi klinis yang dikenal sebagai kandidiasis (Taylor *et al.*, 2023).

Candida albicans memiliki peran penting dalam kedokteran gigi terutama pada terjadinya kandidiasis oral. Kandidiasis oral dapat muncul dalam berbagai bentuk klinis, antara lain pseudomembranosa (*thrush*), eritematosa, dan hiperplastik kronis. Selain itu, *Candida albicans* sering dikaitkan dengan stomatitis gigi tiruan (*denture stomatitis*) pada pemakai gigi tiruan lepasan. Faktor retensi plak, trauma mekanis dari basis gigi tiruan, serta kebersihan mulut yang buruk berkontribusi terhadap kolonisasi jamur ini (Bajunaid, 2022).

Perubahan morfologi *Candida albicans* dari fase ragi (*yeast*) ke fase hifa (*hyphae*) menjadi kunci virulensinya. Pada fase hifa, *Candida albicans* mampu menembus jaringan epitel dan memicu respons inflamasi. Jamur ini juga menghasilkan enzim hidrolitik seperti protease dan fosfolipase yang berperan dalam invasi jaringan serta resistensi terhadap mekanisme pertahanan inang (Khan *et al.*, 2021).

2.3.5 Patogenesis *Candida albicans*

Candida albicans merupakan jamur oportunistik yang secara normal hidup sebagai flora komensal pada mukosa rongga mulut, saluran gastrointestinal, dan genitourinaria, namun dapat berubah menjadi patogen ketika terjadi gangguan keseimbangan mikrobiota atau penurunan sistem imun inang (Talapko *et al.*, 2021). Perubahan *Candida albicans* dari bentuk komensal menjadi patogen dipengaruhi oleh berbagai faktor virulensi, termasuk kemampuan adhesi pada permukaan mukosa dan bahan gigi tiruan melalui adhesin spesifik. Selain adhesi, *Candida albicans* memiliki

kemampuan melakukan transisi morfologis dari bentuk ragi menjadi hifa yang berperan penting dalam proses invasi jaringan dan peningkatan virulensi (Henriques & Silva, 2021). Jamur ini juga mampu membentuk biofilm yang tersusun atas komunitas sel jamur dan matriks ekstraseluler, yang meningkatkan ketahanan terhadap respons imun inang serta terapi antijamur. Pembentukan biofilm *Candida albicans* berperan penting dalam infeksi kronis, termasuk kandidiasis oral dan denture stomatitis, karena memfasilitasi kolonisasi dan persistensi jamur pada permukaan basis gigi tiruan (Srb *et al.*, 2025).

2.4 Nanopartikel Perak (AgNPs)

Nanopartikel perak (AgNPs) merupakan partikel logam yang memiliki aktivitas antimikroba spektrum luas, meliputi bakteri Gram-positif, Gram-negatif, serta berbagai strain jamur pathogen (Lara *et al.*, 2020).

2.4.1 Definisi Nanopartikel Perak (AgNPs)

Nanopartikel perak (AgNPs) merupakan partikel logam berukuran nanometer yang tersusun dari atom perak dengan rentang ukuran sekitar 1–100 nm. Pada skala nano, partikel perak menunjukkan karakteristik fisikokimia yang berbeda secara signifikan dibandingkan bentuk *bulk*, terutama karena tingginya rasio luas permukaan terhadap volume. Sifat ini menjadikan AgNPs lebih reaktif dan memiliki potensi biologis yang luas.

Nanopartikel perak (AgNPs) termasuk dalam kelompok nanomaterial yang paling banyak diteliti dan diaplikasikan karena sifat multifungsionalnya. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa AgNPs

memiliki aktivitas antimikroba spektrum luas, meliputi bakteri Gram-positif, Gram-negatif, serta berbagai strain jamur pathogen. Selain itu, AgNPs juga menunjukkan aktivitas antiinflamasi, antikanker, dan kemampuan sebagai agen penyembuhan luka (Lara *et al.*, 2020).

2.4.2 Karakteristik

Nanopartikel perak (AgNPs) memiliki berbagai karakteristik fisikokimia yang membedakannya dari perak dalam bentuk bulk. Karakteristik ini berkaitan dengan ukuran, morfologi, stabilitas, serta sifat optik, kimia, dan biologis yang mendukung aplikasinya di bidang medis maupun non-medis.

1. Ukuran dan Bentuk (*Size and Morphology*)

AgNPs umumnya berukuran 1–100 nm. Variasi ukuran memengaruhi sifat optik, aktivitas biologis, serta toksisitasnya. Bentuk AgNPs dapat berupa bola (*spherical*), batang (*rod*), segitiga (*triangular*), hingga poligonal, tergantung metode sintesis dan jenis reduktor yang digunakan (Duman *et al.*, 2024).

2. Rasio Luas Permukaan terhadap Volume (*Surface-to-Volume Ratio*)

AgNPs memiliki rasio luas permukaan terhadap volume yang sangat tinggi. Hal ini meningkatkan reaktivitas kimia, mempermudah interaksi dengan membran sel mikroba, dan memperkuat aktivitas antimikroba maupun katalitik (Lara *et al.*, 2020).

3. Sifat Optik (*Surface Plasmon Resonance, SPR*)

AgNPs menunjukkan fenomena surface plasmon resonance (SPR),

yaitu osilasi kolektif elektron konduksi ketika terkena cahaya pada panjang gelombang tertentu. Efek ini menghasilkan penyerapan dan hamburan cahaya khas pada rentang 400–500 nm, sehingga AgNPs banyak digunakan dalam biosensor, imaging, dan diagnostik (Li *et al.*, 2023).

4. Stabilitas

Stabilitas AgNPs dipengaruhi oleh ukuran, bentuk, serta agen penstabil (stabilisator) yang digunakan. Partikel dengan ukuran lebih kecil cenderung lebih reaktif namun kurang stabil, sehingga membutuhkan agen penutup (*capping agents*) untuk mencegah agregasi (Durán *et al.*, 2021).

5. Sifat Kimia dan Biologis

AgNPs memiliki kemampuan melepaskan ion perak (Ag^+) yang bersifat toksik terhadap mikroorganisme. Selain itu, AgNPs dapat menghasilkan *reactive oxygen species* (ROS) yang menyebabkan stres oksidatif, kerusakan membran, serta gangguan metabolisme sel patogen. Karakteristik ini menjadikan AgNPs sebagai agen antimikroba spektrum luas, sekaligus kandidat potensial dalam terapi antikanker dan penyembuhan luka (Marambio-Jones & Hoek, 2020).

2.4.3 Mekanisme Kerja Antifungal

Nanopartikel perak (AgNPs) telah terbukti memiliki aktivitas antifungal spektrum luas terhadap berbagai spesies jamur patogen, termasuk *Candida albicans*, *Aspergillus spp.*, dan *Cryptococcus neoformans*.

Aktivitas ini berasal dari mekanisme kerja multifaktorial yang melibatkan interaksi langsung dengan struktur sel jamur, produksi spesies oksigen reaktif (*reactive oxygen species*/ROS), serta gangguan fungsi molekuler intraseluler. Berikut merupakan mekanisme kerja antifungal dari AgNPs:

1) Interaksi dengan Dinding dan Membran Sel

AgNPs berikatan dengan komponen dinding sel jamur seperti glukukan, kitin, dan protein membran. Interaksi ini meningkatkan permeabilitas membran, menyebabkan kebocoran ion dan molekul kecil, serta mengganggu homeostasis sel. Perubahan integritas membran ini sering kali menjadi tahap awal kerusakan sel jamur (Lara *et al.*, 2020).

2) Produksi *Reactive Oxygen Species* (ROS)

AgNPs dapat memicu pembentukan ROS, termasuk radikal superoksida dan hidrogen peroksida, di dalam sel jamur. Akumulasi ROS menyebabkan stres oksidatif yang merusak protein, lipid membran, serta DNA, sehingga memicu apoptosis atau nekrosis sel jamur (Chandrakar *et al.*, 2021).

3) Pelepasan Ion Perak (Ag^+)

Ion perak yang dilepaskan dari permukaan AgNPs mampu berinteraksi dengan gugus sulfhidril (-SH) pada enzim jamur. Hal ini menghambat fungsi enzim kunci dalam respirasi seluler dan sintesis protein, yang berujung pada gangguan metabolisme dan kematian sel (Durán *et al.*, 2021).

4) Gangguan Materi Genetik

AgNPs dapat berpenetrasi ke dalam inti sel jamur dan berinteraksi

dengan DNA. Mekanisme ini menghambat replikasi DNA dan transkripsi RNA, sehingga menghambat proses proliferasi jamur (Javed *et al.*, 2020).

5) Efek Anti-Biofilm

Selain menghambat pertumbuhan sel planktonik, AgNPs juga terbukti efektif melawan biofilm jamur. AgNPs dapat mencegah adhesi sel jamur ke permukaan, mengganggu struktur matriks ekstraseluler, dan meningkatkan kerentanan biofilm terhadap agen antifungal konvensional (Xu *et al.*, 2020).

2.4.4 Keunggulan dan Kelemahan Nanopartikel perak (AgNPs)

Nanopartikel perak (AgNPs) memiliki sejumlah keunggulan yang menjadikannya salah satu nanomaterial paling prospektif dalam bidang biomedis dan teknologi. AgNPs dikenal memiliki aktivitas antimikroba spektrum luas terhadap bakteri Gram-positif, Gram-negatif, maupun berbagai jamur patogen. Mekanisme kerja yang kompleks, meliputi pelepasan ion Ag^+ , pembentukan *reactive oxygen species* (ROS), serta interaksi langsung dengan membran sel, membuat kemungkinan terjadinya resistensi mikroorganisme lebih rendah dibandingkan agen antimikroba konvensional. Selain itu, AgNPs bersifat multifungsional karena juga menunjukkan aktivitas antiinflamasi, antibiofilm, penyembuhan luka, bahkan potensi sebagai agen antikanker. Sifat optik khas AgNPs berupa fenomena *surface plasmon resonance* (SPR) semakin memperluas aplikasinya, khususnya pada bidang biosensor, imaging, dan penghantaran

obat. Dalam konteks farmasi, AgNPs dapat meningkatkan efektivitas obat konvensional melalui efek sinergis sehingga dosis obat dapat dikurangi tanpa menurunkan potensi terapinya.

Nanopartikel perak juga memiliki kelemahan yang perlu diperhatikan dalam pengembangan aplikasinya. Beberapa studi melaporkan adanya toksisitas terhadap sel inang, di mana paparan AgNPs dengan konsentrasi tinggi dapat menyebabkan stres oksidatif, kerusakan DNA, dan apoptosis pada sel mamalia. Dari aspek lingkungan, keberadaan AgNPs berpotensi menumpuk di tanah maupun air sehingga dapat mengganggu keseimbangan ekosistem dan menimbulkan risiko bioakumulasi. Variabilitas metode sintesis juga menjadi kendala karena menghasilkan ukuran, bentuk, dan stabilitas AgNPs yang berbeda, sehingga memengaruhi konsistensi hasil penelitian maupun efektivitas aplikasinya. Selain itu, belum terdapat standar baku mengenai dosis aman penggunaannya pada manusia, sehingga pemanfaatannya masih terbatas pada tingkat laboratorium dan penelitian praklinis. Walaupun resistensi terhadap AgNPs relatif jarang, beberapa laporan menunjukkan kemungkinan adaptasi mikroorganisme melalui produksi protein pengikat ion logam. Dengan demikian, meskipun AgNPs memiliki potensi besar sebagai agen terapeutik dan material multifungsi, diperlukan penelitian lanjutan mengenai toksisitas, standarisasi dosis, serta dampak lingkungannya agar penggunaannya dapat diterapkan secara aman dan efektif.

2.5 Kemangi

Kemangi (*Ocimum sanctum L.*), yang juga dikenal dengan nama *holy basil*, merupakan tanaman obat yang termasuk dalam famili *Lamiaceae*. Tanaman ini telah lama digunakan dalam pengobatan tradisional karena memiliki berbagai aktivitas farmakologis, seperti antibakteri, antiinflamasi, antioksidan, dan antijamur (Sasmito E. H. *et al.*, 2022)

2.5.1 Deskripsi Botani

Kemangi disebut juga tulsi, tulasi, *holy basil*, *sacred basil*. Kata Basil berasal dari Yunani yaitu basileus, yang berarti raja merupakan salah satu tanaman berkhasiat yang tidak hanya tumbuh di Indonesia tetapi juga di India, Taiwan, Cina, dan Asia Tenggara. Kemangi juga dapat ditemukan di tempat lembab dan teduh di dataran rendah sampai ketinggian 450 meter. Tersebar di seluruh pulau di Indonesia (terutama Sumbawa), bahkan di Asia, Eropa dan Amerika Selatan.



Gambar 2.3 Kemangi (Dokumentasi Pribadi, 2025)

Klasifikasi tanaman kemangi (*Ocimum basilicum*) menurut Handayani & Andari (2023) sebagai berikut:

- Kingdom : *Plantae*
- Phylum : *Magnoliophyta*

- Divisio : *Spermatophyta*
- Sub divisio : *Angiospermae*
- Class : *Dicotyledonae*
- Sub Class : *Asteridae*
- Ordo : *Lamiales*
- Familia : *Lamiaceae (Labiatae)*

2.5.2 Kandungan Fitokimia Utama Daun Kemangi

Komponen atau bahan-bahan yang terkandung didalam daun kemangi, antara lain eugenol, metil eugenol, ocimene, alfa pinene, encalyptole, linalool, geraniol, methychavicol, methylcinnamate, anetol dan camphor. Flavonoids, alkaloids, ascorbic acid, terpenoids, tannins, saponin glycosides juga merupakan unsur kimia dari *Ocimum basilicum* Linn. Sampel daun menunjukkan adanya dua flavone aglycones utama, yang diidentifikasi sebagai salvigenin dan nevadenin. Selain itu pengindentifikasian daun kemangi menggunakan metode GC/MS terdapat kandungan seperti seperti 3,7-dimetil-1,6-oktadien 3-ol (linalool 3,94 mg/g), 1-metoksi-4-(2-propenil) benzena (estragol 2,03 mg/g), metil sinamat (1,28 mg/g), 4-alil-2-metoksifenol (eugenol 0,896 mg/g), dan 1,8-sineol (0,288mg/g) (Utami *et al.*, 2021).

2.5.3 Peran Fitokimia

Senyawa flavonoid menyebabkan terjadinya kerusakan permeabilitas dinding sel bakteri, mikrosom dan lisosom sebagai hasil interaksi antara

flavonoid dengan DNA bakteri. Mekanisme kerja flavonoid menghambat fungsi membran sel adalah membentuk senyawa kompleks dengan protein ekstraseluler dan terlarut sehingga dapat merusak membran sel bakteri dan diikuti dengan keluarnya senyawa intraseluler (Thebti *et al.*, 2023). Senyawa tanin juga memiliki peran untuk membentuk senyawa kompleks dengan protein melalui ikatan hidrogen, jika terbentuk ikatan hidrogen antara tanin dengan protein maka protein akan terdenaturasi sehingga metabolisme bakteri menjadi terganggu. Senyawa saponin memiliki aglikogen berupa steroid dan triterpenoid. Mekanisme kerja saponin sebagai antibakteri yaitu melalui penghambatan sintesis protein dan enzim dalam sel bakteri yang berdifusi melalui membran luar dan dinding sel kemudian mengikat membran sitoplasma sehingga mengganggu dan mengurangi kestabilan membran sel (Li & Monje-Galvan, 2023). Hal ini menyebabkan sitoplasma keluar dari sel yang mengakibatkan kematian sel.

2.5.4 Manfaat

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa daun kemangi mengandung berbagai senyawa bioaktif seperti flavonoid, saponin, tanin, alkaloid, eugenol, dan β -caryophyllene yang berperan penting dalam aktivitas farmakologisnya.

1. Aktivitas Antioksidan

Daun kemangi kaya akan flavonoid dan fenol yang berfungsi sebagai antioksidan alami. Senyawa ini mampu menangkal radikal bebas, mencegah stres oksidatif, serta berperan dalam menurunkan risiko

penyakit degeneratif seperti kanker dan penyakit kardiovaskular (Nasution *et al.*, 2025).

2. Aktivitas Antibakteri dan Antijamur

Ekstrak etanol daun kemangi terbukti memiliki efek antibakteri terhadap *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*, serta antijamur terhadap *Candida albicans*. Hal ini menjadikan kemangi potensial dikembangkan sebagai agen antibakteri alami (Tarsikah *et al.*, 2022).

3. Efek Terhadap Sistem Reproduksi

Daun kemangi dipercaya dapat meningkatkan kualitas sperma karena kandungan senyawa arginin yang berperan dalam pembentukan hormon testosteron. Selain itu, kandungan antioksidan di dalamnya mampu melindungi sel reproduksi dari kerusakan akibat radikal bebas.

4. Efek terhadap Sistem Pencernaan

Kandungan eugenol dalam daun kemangi dapat membantu mengatasi gangguan pencernaan seperti perut kembung, mual, dan diare. Eugenol juga memiliki efek antispasmodik yang menenangkan otot polos saluran cerna.

5. Potensi dalam Kesehatan Kardiovaskular

Daun kemangi juga mengandung magnesium dan β -caryophyllene yang dapat membantu menjaga elastisitas pembuluh darah serta menurunkan kadar kolesterol. Hal ini menjadikan kemangi berpotensi sebagai agen pelindung terhadap penyakit kardiovaskular.

2.6 Sintesis Hijau Nanopartikel Perak dengan Daun Kemangi

Sintesis hijau merupakan pendekatan dalam kimia yang memanfaatkan prinsip-prinsip kimia hijau (*green chemistry*) untuk menghasilkan produk dengan efisiensi tinggi dan dampak lingkungan minimal. Dalam konteks nanoteknologi, sintesis hijau digunakan untuk membentuk nanopartikel dengan bantuan ekstrak tumbuhan, mikroorganisme, atau enzim sebagai pereduksi (*reducing agent*) dan penstabil (*stabilizing agent*) (Rajan *et al.*, 2020).

2.6.1 Prinsip Dasar Sintesis Hijau Nanopartikel Perak

Sintesis hijau nanopartikel perak (AgNPs) merupakan metode ramah lingkungan yang memanfaatkan senyawa bioaktif dari tumbuhan sebagai agen pereduksi dan penstabil. Salah satu tumbuhan yang potensial adalah daun kemangi (*Ocimum sanctum* atau *Ocimum basilicum*), karena mengandung berbagai metabolit sekunder seperti flavonoid, fenol, terpenoid, tanin, dan alkaloid yang berperan penting dalam proses bioeduksi ion perak (Ag^+) menjadi bentuk nanopartikel perak (Ag^0) (Fatima *et al.*, 2024).

Proses sintesis biasanya diawali dengan pembuatan ekstrak daun kemangi melalui perebusan atau perendaman dalam pelarut air atau etanol. Ekstrak yang diperoleh kemudian dicampurkan dengan larutan perak nitrat (AgNO_3). Interaksi antara senyawa fitokimia dan ion perak menghasilkan reduksi Ag^+ menjadi Ag^0 , ditandai dengan perubahan warna larutan menjadi coklat kemerahan hingga kehitaman akibat terbentuknya plasmon permukaan khas AgNPs (Qaeed *et al.*, 2023).

Nanopartikel yang terbentuk selanjutnya dapat dikarakterisasi menggunakan berbagai metode, seperti spektrofotometri UV-Vis untuk mendeteksi puncak plasmon, FTIR untuk mengidentifikasi gugus fungsi senyawa bioaktif yang berperan, XRD untuk analisis kristalinitas, serta TEM atau SEM untuk mengamati ukuran dan morfologi partikel.

2.6.2 Faktor yang Mempengaruhi Proses Sintesis

Sintesis hijau nanopartikel perak (AgNPs) merupakan pendekatan ramah lingkungan yang memanfaatkan senyawa bioaktif dari tumbuhan, mikroorganisme, atau produk alami sebagai agen pereduksi sekaligus penstabil. Proses sintesis ini dipengaruhi oleh berbagai faktor yang menentukan ukuran, bentuk, stabilitas, serta aktivitas biologis AgNPs yang dihasilkan.

1. pH Larutan

pH merupakan faktor penting yang memengaruhi laju reduksi ion perak menjadi nanopartikel. Pada kondisi basa, ion hidroksil mempercepat transfer elektron dari senyawa bioaktif ekstrak tanaman atau mikroba ke ion Ag^+ sehingga terbentuk inti nanopartikel lebih cepat dan menghasilkan partikel berukuran kecil dengan stabilitas tinggi. Sebaliknya, pada kondisi asam, kecepatan reduksi melambat sehingga inti partikel terbentuk lebih sedikit, berukuran lebih besar, dan cenderung beragregasi karena tidak stabil. Perbedaan pH juga dapat memengaruhi konformasi protein atau senyawa bioaktif dalam ekstrak yang bertindak sebagai agen pereduksi maupun penstabil.

2. Suhu Reaksi

Suhu berperan dalam kinetika pembentukan nanopartikel. Peningkatan suhu mempercepat reaksi reduksi dan memicu nukleasi yang lebih cepat sehingga terbentuk partikel berukuran lebih kecil dengan distribusi seragam. Pada suhu yang terlalu tinggi, pertumbuhan kristal dapat berlangsung cepat dan memengaruhi morfologi partikel. Sebaliknya, suhu rendah menghasilkan reaksi yang lebih lambat, partikel berukuran lebih besar, dan distribusi yang tidak merata. Oleh karena itu, suhu harus dikendalikan agar proses sintesis berlangsung optimal dan menghasilkan partikel dengan ukuran serta bentuk yang diinginkan.

3. Konsentrasi Prekursor Perak (AgNO_3)

Konsentrasi larutan ion perak menentukan jumlah inti nanopartikel yang terbentuk. Konsentrasi prekursor yang tinggi mempercepat proses reduksi dan menghasilkan jumlah nanopartikel yang lebih banyak, tetapi juga meningkatkan risiko terjadinya agregasi bila tidak ada cukup agen penstabil. Sebaliknya, konsentrasi rendah menghasilkan partikel yang lebih sedikit dengan ukuran yang bervariasi dan distribusi yang kurang seragam. Oleh karena itu, penentuan konsentrasi ion perak yang tepat menjadi kunci agar nanopartikel yang terbentuk memiliki ukuran seragam, stabilitas tinggi, serta aktivitas biologis optimal.

4. Jenis dan Konsentrasi Agen Pereduksi/Penstabil

Agen pereduksi dan penstabil alami, seperti senyawa fenolik,

flavonoid, alkaloid, polisakarida, maupun protein dalam ekstrak tanaman atau mikroba, memegang peranan penting dalam menentukan kualitas AgNPs. Senyawa ini bertanggung jawab dalam mereduksi ion Ag^+ menjadi Ag^0 sekaligus melapisi permukaan partikel untuk mencegah agregasi. Variasi jenis tanaman atau mikroorganisme menghasilkan komposisi fitokimia yang berbeda, sehingga memengaruhi ukuran, bentuk, dan stabilitas partikel. Konsentrasi ekstrak yang lebih tinggi biasanya mempercepat reaksi reduksi dan menghasilkan partikel lebih kecil, sedangkan konsentrasi rendah membuat reaksi lebih lambat dan partikel berukuran lebih besar.

5. Waktu Reaksi

Durasi reaksi juga memengaruhi kualitas nanopartikel yang dihasilkan. Waktu yang terlalu singkat dapat menghasilkan partikel yang belum terbentuk sempurna dan kurang stabil, sedangkan waktu yang terlalu lama meningkatkan kemungkinan terjadinya pertumbuhan partikel berlebih maupun agregasi. Waktu optimal memungkinkan proses nukleasi dan pertumbuhan kristal berlangsung seimbang sehingga menghasilkan nanopartikel dengan ukuran yang seragam, morfologi terkontrol, dan stabilitas lebih baik.

6. Rasio Volume Ekstrak terhadap Prekursor

Rasio antara ekstrak biologis dan larutan prekursor perak sangat berpengaruh terhadap kecepatan reaksi serta ukuran partikel. Rasio ekstrak yang lebih tinggi mempercepat reduksi ion perak sehingga partikel yang terbentuk lebih kecil dan stabil karena lapisan penstabil

dari senyawa bioaktif cukup untuk melapisi permukaan nanopartikel. Sebaliknya, rasio ekstrak yang rendah menghasilkan reaksi yang lebih lambat, partikel yang lebih besar, serta risiko agregasi yang lebih tinggi akibat kurangnya agen penstabil.

7. Kondisi Lingkungan Sintesis

Faktor lingkungan seperti pencahayaan, aerasi, dan pengadukan turut memengaruhi keberhasilan sintesis. Paparan cahaya dapat meningkatkan laju reduksi ion perak karena efek fotokatalitik, sehingga intensitas cahaya perlu dikendalikan untuk memperoleh ukuran partikel yang seragam. Aerasi dan pengadukan membantu homogenisasi larutan sehingga distribusi partikel lebih merata dan stabilitas meningkat. Selain itu, wadah reaksi, medium pelarut, dan kondisi penyimpanan pascasintesis juga berpengaruh terhadap kualitas nanopartikel yang dihasilkan.

2.6.3 Kelebihan Sintesis Hijau

Terdapat beberapa kelebihan utama dari sintesis hijau dibandingkan metode kimia atau fisika biasa, yaitu (Fahim *et al.*, 2024):

1. Sederhana dan mudah dilakukan

Proses sintesis tidak memerlukan peralatan laboratorium yang rumit atau kondisi ekstrem (misalnya suhu dan tekanan tinggi).

2. Ramah lingkungan

Sintesis hijau tidak menggunakan bahan kimia berbahaya, sehingga tidak menimbulkan pencemaran dan lebih aman untuk lingkungan.

3. Non-toksik dan aman

Ekstrak tumbuhan berperan sebagai agen pereduksi sekaligus penstabil (*capping agent*), sehingga mengurangi risiko efek toksik dibandingkan bahan kimia sintetis.

4. Biaya efektif

Karena memanfaatkan bahan alami yang mudah didapat (seperti daun sembung), metode ini lebih ekonomis dibandingkan metode kimia konvensional.

5. Efektivitas biomedis lebih tinggi

Nanopartikel perak hasil sintesis hijau mengandung biomolekul tumbuhan (misalnya flavonoid, polifenol) pada permukaannya. Hal ini meningkatkan aktivitas biologisnya, termasuk antibakteri, antioksidan, antiinflamasi, antikanker, hingga penyembuhan luka.

6. Mencegah agregasi nanopartikel

Senyawa bioaktif dalam ekstrak tumbuhan juga berfungsi sebagai stabilizer sehingga nanopartikel lebih stabil dan tidak mudah menggumpal.

UNMAS DENPASAR

2.6.4 Penambahan Nanopartikel Perak Sintesis Daun Kemangi pada Resin

Nilon Termoplastik

Ekstrak daun kemangi mengandung flavonoid fenolik protein dan senyawa reduktor lain yang mereduksi ion Ag^+ menjadi Ag^0 dan sekaligus menstabilkan partikel hasil. Perubahan warna larutan dan puncak plasmon permukaan (UV-Vis) menjadi indikator pembentukan AgNP. Karakterisasi

lazim meliputi UV–Vis FTIR XRD SEM/TEM dan DLS (Gautam *et al.*, 2023).

Ukuran partikel bentuk muatan permukaan (zeta potential) dan lapisan penutup (capping) menentukan dispersibilitas AgNP dalam matriks polimer lepasnya ion Ag⁺ dan aktivitas antimikroba. AgNP kecil (<20-50 nm) biasanya menunjukkan aktivitas antimikroba lebih kuat namun berisiko lebih besar terhadap aglomerasi dan pelepasan ion yang tidak diinginkan. Karakterisasi kuantitatif ukuran dan kestabilan penting sebelum pencampuran ke resin. Terdapat beberapa pendekatan untuk menambahkan AgNP ke dalam nilon termoplastik (Vidakis *et al.*, 2024):

- *In-situ melt mixing / reactive melt-mixing*

AgNP dimasukkan selama proses pencetakan/ekstrusi sehingga distribusi partikel terjadi saat fusi termoplastik. Metode ini *scalable* untuk PA12 PA6 dan PA66. Pembuatan filament PA12/AgNP melalui *in-situ melt-mixing* menghasilkan nanokomposit bermuatan antimikroba dengan sifat mekanik yang masih mumpuni.

- *Solvent casting*

AgNP disuspensikan dalam pelarut yang melarutkan atau membasahi permukaan nilon. Setelah pelarut menguap partikel tertinggal terikat pada matriks. Metode ini bermanfaat untuk membran atau lapisan tipis.

- *Surface functionalization dan post-treatment*

Untuk serat/tekstil nilon teknik pewarnaan permukaan pemasangan chitosan atau perlakuan plasma meningkatkan adhesi AgNP sehingga menurunkan pencucian/lepasan partikel. Tekstil polyamide 66

menunjukkan perlakuan plasma dan penggunaan poli-elektrolit meningkatkan ketahanan fiksasi AgNP terhadap siklus pencucian.

- *In-situ reduction* di dalam matriks polimer

Ion Ag ditempatkan dalam prepolimer kemudian direduksi di dalam fase polimer sehingga terbentuk AgNP tersebar. Teknik ini dapat mengurangi aglomerasi bila kondisi reaksi dikontrol.

Penambahan AgNPs yang telah disintesis dengan daun kemangi ke dalam nilon termoplastik akan menghasilkan sifat baru dari nilon termoplastik yaitu:

1. Sifat antimikroba

Tambahannya meningkatkan kemampuan antibakteri dan antijamur komposit. Aktivitas bergantung pada muatan Ag total ukuran partikel dan distribusi. Beberapa studi menunjukkan efek cepat terhadap *S. aureus* dan *E. coli* pada konsentrasi rendah.

2. Sifat mekanik dan termal

Hasil yang dilaporkan bervariasi. Pada dispersi baik AgNP dapat meningkatkan modulus dan stabilitas termal. Namun aglomerasi partikel menyebabkan penurunan kekuatan tarik dan elongasi. Penggunaan agen kompatibilizer dan pengolahan mekanik (sonikasi ekstrusi berkecepatan tinggi) membantu mempertahankan sifat mekanik.

3. Pelepasan ion Ag dan durabilitas antimikroba

Pelepasan ion Ag⁺ berkontribusi besar pada aktivitas antimikroba namun juga menentukan durabilitas fungsi. Metode fiksasi permukaan

dan penutupan dengan polimer matriks dapat mengendalikan laju pelepasan.

2.7 Mekanisme Antifungal AgNPs terhadap *Candida albicans*

Mekanisme antifungal AgNPs terhadap *Candida albicans* melibatkan beberapa jalur penting yang saling berhubungan. Mekanisme utama adalah induksi produksi *reactive oxygen species* (ROS) intraseluler yang menimbulkan stres oksidatif, sehingga merusak struktur penting sel jamur termasuk lipid membran, protein, dan DNA. Peningkatan ROS ini juga memicu kematian sel dengan pola mirip apoptosis. Selain itu AgNPs menyebabkan disrupsi membran sel melalui peningkatan permeabilitas dan kerusakan integritas membran yang ditunjukkan dengan lebih dari 60% sel mengalami kebocoran membran pada konsentrasi minimal inhibisi. AgNPs dapat mengganggu fungsi mitokondria yang berakibat pada penurunan produksi ATP dan menurunnya aktivitas metabolik hingga 75% pada konsentrasi efektif, sehingga sel kehilangan energi untuk mempertahankan kelangsungan hidupnya (Chandrakar *et al.*, 2025).

Mekanisme tambahan yang tidak kalah penting adalah kemampuan AgNPs dalam menghambat transisi morfologi yeast-to-hyphae, suatu faktor virulensi utama yang memungkinkan *Candida albicans* melakukan invasi jaringan dan mendukung pembentukan biofilm. Hambatan ini berdampak langsung pada penurunan kemampuan patogen dalam membentuk biofilm, dengan reduksi biomassa biofilm mencapai lebih dari 70% pada konsentrasi tinggi. Secara keseluruhan, AgNPs bekerja melalui mekanisme multi-target

yang mencakup induksi stres oksidatif, kerusakan membran sel, gangguan metabolisme mitokondria, serta penghambatan transisi morfologi dan biofilm. Kombinasi efek tersebut menghasilkan aktivitas antifungal yang kuat sekaligus mengurangi risiko perkembangan resistensi bila dibandingkan dengan antifungal konvensional.

2.8 Colony Forming Unit (CFU)

Colony Forming Unit (CFU) adalah satuan ukur standar dalam mikrobiologi yang digunakan untuk menentukan jumlah mikroorganisme hidup dalam suatu sampel yang mampu bereplikasi dan membentuk koloni pada medium padat. Prinsip dasar CFU adalah bahwa setiap sel hidup tunggal, atau sekelompok kecil sel yang tetap viabel, akan berkembang biak hingga menghasilkan satu koloni yang terlihat dengan mata telanjang setelah inkubasi. Dengan demikian, CFU tidak secara langsung merepresentasikan jumlah total sel, tetapi jumlah unit yang berpotensi membentuk koloni. CFU ini menunjukkan jumlah koloni yang tumbuh tiap gram atau mililiter sampel yang dihitung dari jumlah cawan, faktor pengenceran, dan volume yang digunakan (Laili *et al.*, 2022).

Metode CFU telah lama digunakan sebagai parameter penting dalam berbagai bidang seperti industri pangan untuk menilai kontaminasi mikroba pada produk seperti air, susu, dan makanan olahan, kedokteran klinis sebagai metode dalam diagnosis, misalnya untuk menghitung jumlah bakteri dalam sampel urin atau darah pasien, dan penelitian mikrobiologi untuk

mengevaluasi efektivitas antibiotik, pertumbuhan kultur, maupun hasil perlakuan eksperimental.

