

Uji Aktivitas Antijamur Nanopartikel Zink Oksida (ZnO) Ekstrak Kulit Jengkol terhadap *Candida Albicans*

Ica Dwi Patricia¹, Vera Estefania Kaban^{2*}, Astriani Natalia Br Ginting³

¹Bachelor of Clinical Pharmacy, Faculty of Health Sciences, Universitas Prima Indonesia, Medan, 20118, Indonesia

^{2*}Department of Clinical Pharmacy, Faculty of Health Sciences, Universitas Prima Indonesia, Medan, 20118, Indonesia

³PUI Phyto Degenerative & Lifestyle Medicine, Universitas Prima Indonesia, Medan, Indonesia

Email: ¹icapatricia95@gmail.com, ^{2*}veraestefaniakaban@unprimdn.ac.id,

³astrianinataliabrginting@unprimdn.ac.id

Abstract

Natural materials are increasingly being used as sources of bioactive chemicals due to increased concerns about safety, sustainability, and environmental effect. Jengkol peel is one such natural material with potential because it contains various secondary metabolites compounds that have biological activity. On the other hand, *Candida albicans* fungal infections remain a health problem, while conventional antifungal options are limited and have the potential to cause side effects. Zinc oxide (ZnO) nanoparticles are known to have broad antimicrobial activity, and their synthesis can be carried out in an environmentally friendly manner through a green synthesis approach using natural materials. This study aims to test the antifungal activity of ZnO nanoparticles synthesized using jengkol peel extract against *Candida albicans*. The study was conducted experimentally. Antifungal activity was tested using the well diffusion method with various concentrations of ZnO nanoparticles. The results showed the formation of an inhibition zone around the well, indicating the antifungal activity of ZnO nanoparticles. The increase in ZnO nanoparticle concentration is directly proportional to the increase in inhibition zone diameter, with the highest inhibition of 14 mm categorized as moderate activity. This study proves that jengkol-based ZnO nanoparticles have the potential to be developed as an environmentally friendly alternative antifungal agent.

Keywords: ZnO Nanoparticles, Jengkol Peel, Antifungal, *Candida Albicans*.

Abstrak

Pemanfaatan bahan alam sebagai sumber senyawa bioaktif semakin berkembang seiring meningkatnya perhatian terhadap aspek keamanan, keberlanjutan, dan dampak lingkungan. Kulit jengkol merupakan salah satu bahan alam yang berpotensi karena mengandung beberapa metabolit sekunder yang memiliki aktivitas biologis. Di sisi lain, infeksi jamur *Candida albicans* masih menjadi permasalahan kesehatan, sementara pilihan antifungi konvensional terbatas dan berpotensi menimbulkan efek samping. Nanopartikel seng oksida (ZnO) diketahui memiliki aktivitas antimikroba yang luas, dan sintesisnya dapat dilakukan secara ramah lingkungan melalui pendekatan *green synthesis* menggunakan bahan alami. Penelitian ini bertujuan untuk menguji aktivitas antijamur nanopartikel ZnO yang disintesis menggunakan ekstrak air kulit jengkol terhadap *Candida albicans*. Penelitian dilakukan secara eksperimental. Aktivitas antijamur diuji menggunakan metode difusi sumur dengan variasi konsentrasi nanopartikel ZnO. Hasil penelitian menunjukkan terbentuknya zona hambat di sekitar sumuran, yang menandakan adanya aktivitas antijamur nanopartikel ZnO terhadap *Candida albicans*. Peningkatan konsentrasi nanopartikel ZnO berbanding lurus dengan bertambahnya diameter zona hambat, dengan penghambatan tertinggi sebesar 14 mm pada konsentrasi 500 mg/ml dan dikategorikan sebagai aktivitas sedang. Analisis statistik menunjukkan nilai signifikansi 0,05, yang mengindikasikan bahwa variasi konsentrasi nanopartikel ZnO berpengaruh bermakna terhadap pertumbuhan *Candida albicans*. Penelitian ini membuktikan bahwa nanopartikel ZnO berbasis kulit jengkol berpotensi dikembangkan sebagai agen antijamur alternatif yang ramah lingkungan.

Kata Kunci: Nanopartikel ZnO, Kulit Jengkol, Antijamur, *Candida Albicans*.

1. PENDAHULUAN

Pemanfaatan bahan alam sebagai sumber senyawa bioaktif menunjukkan tren peningkatan sejalan dengan bertambahnya perhatian terhadap aspek keamanan, keberlanjutan, serta pengaruhnya terhadap lingkungan (Fitriani et al., 2025). Salah satu bahan alami yang memiliki potensi namun masih kurang mendapat perhatian adalah kulit jengkol (*Archidendron jiringa*). Berdasarkan penelitian terdahulu, kulit jengkol dilaporkan mengandung beragam metabolit sekunder, seperti flavonoid, tanin, saponin, dan senyawa fenolik, yang diketahui memiliki berbagai aktivitas biologis, termasuk aktivitas antioksidan dan antimikroba (Nurmiati et al., 2024). Beberapa teknik ekstraksi konvensional seperti maserasi dan soxhlet umumnya membutuhkan volume pelarut organik yang besar serta durasi ekstraksi yang relatif lama, sehingga berpotensi menurunkan efisiensi dan keberlanjutan proses (Tri et al., 2022). Dengan demikian, ekstraksi sederhana berbasis pelarut air pada kulit jengkol menjadi menarik untuk ditelaah lebih lanjut karena metode ekstraksinya mudah, lebih ramah lingkungan, dan selaras dengan prinsip green chemistry, sehingga memiliki peluang untuk diaplikasikan dalam berbagai bidang, termasuk pengembangan senyawa bioaktif baru (Reningtyas & Aulia Ikhsan, 2024).

Di sisi lain, infeksi jamur masih menjadi masalah kesehatan penting, terutama infeksi yang disebabkan oleh *Candida albicans* (Katsipoulaki et al., 2024). Mikroorganisme ini merupakan flora normal pada manusia, namun dapat menjadi patogen oportunistik ketika kondisi imunitas menurun atau terjadi gangguan keseimbangan mikrobiota (Herawati et al., 2021). Infeksi *Candida albicans* dapat menyebabkan kandidiasis pada kulit, mukosa, hingga sistemik, yang berpotensi menimbulkan komplikasi serius (Zalukhu & Widiyarti, 2025). Opsi pengobatan untuk mengatasi infeksi jamur masih terbatas jika dibandingkan dengan banyaknya agen antibakteri yang tersedia (Lubis et al., 2022). Selain itu, penggunaan antifungi konvensional sering menimbulkan berbagai reaksi negatif seperti bercak kulit, rasa gatal, diare, nyeri perut, kemerahan pada kulit, hingga kerusakan pada organ hati (Hidayatunnikmah et al., 2022). Jamur merupakan organisme eukariotik yang menunjukkan kesamaan dalam proses biologis dan biokimia dengan sel-sel tubuh manusia. Karena alasan ini, pengembangan obat antijamur harus dilakukan dengan hati-hati untuk fokus pada komponen unik sel jamur. Jika tidak demikian, zat yang merusak sel jamur juga bisa berbahaya bagi sel-sel inang (Djearamane et al., 2022). Meski begitu, kebanyakan obat fungistatik yang ada sekarang ini, walaupun mampu memperlambat perkembangan jamur, secara bersamaan justru memperkuat ketahanan jamur terhadap berbagai jenis obat tersebut (Kessler et al., 2022).

Nanopartikel saat ini semakin menarik perhatian karena ukuran mereka yang sangat kecil dan kinerja yang sangat baik. Studi terbaru telah menemukan potensi sifat antimikroba pada nanopartikel seng oksida (Sharmin et al., 2021). Nanopartikel ZnO dikenal memiliki aktivitas antimikroba luas karena kemampuannya menghasilkan reactive oxygen species (ROS), merusak membran sel mikroba, serta mengganggu metabolisme seluler (Djearamane et al., 2022). Ukuran partikel yang sangat kecil meningkatkan luas permukaan dan memperkuat interaksi dengan sel jamur, sehingga meningkatkan efek antijamur (Ahmed et al., 2025). Sejumlah penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa nanopartikel ZnO mampu menghambat pertumbuhan jamur patogen. Studi oleh Hernandez et al., menunjukkan penghambatan yang signifikan terhadap *Phoma* sp. (Vargas Hernández et al., 2024), sementara Vincekovic et al., menemukan efek serupa dalam menghambat *Fusarium solani* (Vinceković et al., 2025). Selain itu, penelitian oleh Sanchez et al., menunjukkan penghambatan yang efisien

terhadap *Colletotrichum sp.*, yang mendorong pertimbangan untuk studi lebih lanjut mengenai aktivitas antifungal potensial ZnO-NPs (Mosquera-Sánchez et al., 2020). Menariknya, sejumlah kajian mutakhir menunjukkan bahwa proses sintesis nanopartikel dapat memanfaatkan bahan alami sebagai agen pereduksi sekaligus penstabil, sehingga mampu menggantikan penggunaan bahan kimia berbahaya melalui pendekatan yang dikenal sebagai *green synthesis* (Villagrán et al., 2024). Penggunaan ekstrak tumbuhan dalam biosintesis nanopartikel ZnO telah dilakukan oleh beberapa penelitian sebelumnya, yaitu menggunakan ekstrak daun sena (Ramesh et al., 2021), ekstrak daun sambiloto (Jayachandran et al., 2021), dan ekstrak kulit pisang (Nugroho et al., 2024).

Dalam konteks ini, ekstrak air kulit jengkol dapat berpotensi sebagai agen reduktor dan penstabil dalam pembentukan nanopartikel ZnO. Kehadiran senyawa polifenol dan flavonoid dalam ekstrak mampu memfasilitasi proses pembentukan nanopartikel sekaligus memberikan kontribusi aktivitas biologis tambahan (Arifin & Nazriati, 2022). Oleh karena itu, peneliti terdorong untuk melaksanakan penelitian berjudul "Uji Aktivitas Antijamur Nanopartikel Zink Oksida (ZnO) Kulit Jengkol Terhadap *Candida Albicans*" untuk menilai zona inhibisi nanopartikel ZnO pada proliferasi jamur *Candida albicans* secara in vitro.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan metode eksperimental. Sampel yang digunakan yaitu kulit jengkol yang diperoleh dari daerah Kabupaten Mandailing Natal, Sumatera Utara.

2.1 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan meliputi berbagai alat gelas, antara lain gelas beker, Erlenmeyer, gelas ukur, tabung reaksi, cawan petri, *cork borer*, dan spatula, serta peralatan pendukung seperti autoklaf, *laminar air flow cabinet*, inkubator, vortex, dan *hot plate*. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas media Potato Dextrose Agar (PDA), dimetilsulfoksida (DMSO), ekstrak air kulit jengkol, serta jamur *Candida albicans*.

2.2 Pembuatan Ekstrak Air Kulit Jengkol

Sebanyak 10 gram serbuk kering kulit jengkol ditimbang, kemudian dimasukkan ke dalam panci infusa dan ditambahkan aquadest sebanyak 100 mL. Proses infundasi dilakukan selama 15 menit, yang perhitungannya dimulai setelah suhu larutan sampel mencapai 90°C, dengan pengadukan sesekali. Setelah proses selesai dan larutan didinginkan, hasil infusa disaring menggunakan kain flannel (Bachmid et al., 2022). Filtrat yang diperoleh masih berupa ekstrak cair, selanjutnya diuapkan menggunakan rotary evaporator, kemudian dilanjutkan pemekatan dengan water bath hingga diperoleh ekstrak kental.

2.3 Skrining Fitokimia

Pengujian fitokimia dilakukan untuk memastikan apakah ekstrak kulit jengkol mengandung alkaloid, flavonoid, tanin, saponin, terpenoid atau steroid, dan glikosida (Nasri et al., 2025).

2.4 Karakterisasi Simplisia

Karakterisasi simplisia mencakup analisis kadar air, penetapan kadar sari yang larut dalam pelarut air, penentuan kadar sari yang larut dalam etanol, pengukuran kadar abu total, serta penetapan kadar abu yang tidak larut dalam asam (Ridwanto et al., 2024).

2.5 Identifikasi Ekstrak Kulit Jengkol dengan FTIR

Dengan menggunakan spektrofotometer FTIR pada bilangan gelombang 4.000–400 cm^{-1} , maka dapat ditentukan gugus fungsi dari ekstrak air kulit jengkol (Rani et al., 2023).

2.6 Uji Antijamur

Metode pengujian antijamur yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode difusi sumur (*well diffusion*). Larutan jamur yang sudah disesuaikan dengan standar McFarland dioleskan ke media PDA dengan menggunakan kapas steril, mencakup seluruh permukaan sebanyak tiga kali dengan memutar cawan pada sudut 60 derajat setiap kali aplikasi. Selanjutnya, biarkan selama 5 hingga 10 menit agar cairan dapat diserap oleh media (Mursyida & Anjeli, 2025). Selanjutnya, *cork borer* berukuran 6 mm digunakan untuk melubangi media. Pada setiap sumuran, sebanyak 20 μL larutan nanopartikel ZnO dari hasil sintesis menggunakan kulit jengkol dimasukkan ke dalam sumuran dengan konsentrasi 50 mg/ml, 100 mg/ml, 125mg/ml, 250mg/ml, dan 500 mg/ml. Ketokonazol digunakan sebagai kontrol positif dan DMSO digunakan sebagai kontrol negatif. kemudian selama 24 jam, disimpan dalam inkubator pada suhu 37°. Untuk mengukur daerah hambat digunakan jangka sorong (T. Santoso et al., 2021).

2.7 Analisis Data

Uji Shapiro Wilk digunakan untuk mengevaluasi normalitas data diameter zona hambat rata-rata. Jika nilai sig lebih dari 0,05, data dianggap normal. Setelah itu, pengujian homogenitas dilakukan. Nilai signifikansi lebih dari 0,05 menunjukkan bahwa data homogen dan normal. Lalu dapat dilanjutkan dengan uji *One-Way Anova* (Sudjarwo & Rosalia, 2019).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Ekstraksi kulit jengkol

Proses ekstraksi pada simplisia kulit jengkol dilakukan menggunakan metode infudasi. Pendekatan ekstraksi yang memanfaatkan pelarut air dipandang sebagai metode yang menjanjikan untuk memperoleh senyawa fenolik dari bahan tanaman. Teknik ekstraksi dengan bantuan pemanasan atau perebusan dilaporkan mampu mengekstraksi senyawa fenolik dari secara optimal tanpa menimbulkan degradasi terhadap senyawa fenolik yang terkandung di dalamnya (Dalimunthe et al., 2022). Selain itu, penggunaan air sebagai pelarut yang bersifat polar memungkinkan penarikan senyawa-senyawa polar dari kulit jengkol secara efektif (Sakti et al., 2024). Ekstraksi kulit jengkol tersebut menghasilkan ekstrak kental dengan persentase rendemen sebesar 19,4%. Perhitungan rendemen bertujuan untuk mengetahui jumlah senyawa aktif yang diperoleh dari sampel, di mana semakin tinggi nilai rendemen menunjukkan semakin besar kandungan senyawa aktif atau metabolit sekunder di dalamnya. Suatu proses ekstraksi dinilai menghasilkan rendemen yang baik apabila nilai rendemen melebihi 10% (Apriani et al., 2023).

Nilai rendemen infusa yang dihasilkan pada penelitian ini menunjukkan hasil yang lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian lain yang melaporkan rendemen ekstrak kulit jengkol sebesar 4,5% hingga 5,0% melalui metode maserasi menggunakan pelarut methanol (Alfauzi et al., 2022). Tingginya persentase rendemen tersebut dipengaruhi oleh berbagai faktor yang menentukan jumlah ekstrak yang diperoleh selama proses ekstraksi, di antaranya karakteristik dan tingkat kepolaran pelarut, kandungan komponen senyawa aktif dalam sampel, serta metode ekstraksi yang diterapkan (Alfauzi et al., 2022).

Metode infundasi merupakan teknik penyarian yang memanfaatkan air sebagai pelarut dengan perlakuan pemanasan pada suhu sekitar 90 °C selama 15 menit. Metode ini diterapkan untuk mengekstraksi simplisia yang bersifat larut dalam air serta stabil

terhadap pemanasan. Perlakuan suhu selama proses ekstraksi memberikan pengaruh yang signifikan terhadap jumlah rendemen yang diperoleh. Peningkatan suhu ekstraksi dapat menaikkan energi kinetik larutan, sehingga proses difusi pelarut ke dalam jaringan sel berlangsung lebih intensif dan pada akhirnya menghasilkan rendemen ekstrak yang lebih tinggi (Rifkia, 2020).

3.2. Skrining Fitokimia

Selanjutnya, uji skrining fitokimia dilakukan pada ekstrak yang diperoleh untuk mengetahui apakah kulit jengkol mengandung berbagai golongan senyawa kimia, seperti fenolik, flavonoid, steroid, tanin, dan saponin. Hasil uji ini disajikan pada Tabel 1. Hasil ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Siswandi et al., (2020) yang menemukan bahwa ekstrak kulit jengkol mengandung berbagai senyawa metabolit sekunder, termasuk flavonoid, tannin, saponin, alkaloid, dan steroid atau terpenoid (Siswandi et al., 2020).

Tabel 1. Hasil skrining fitokimia ekstrak kulit jengkol

Senyawa Fitokimia	Reagen	Hasil	Keterangan
Flavonoid	Serbuk Magnesium (Mg) + HCl pekat	+	Terbentuk larutan berwarna kuning
Tanin	Gelatin 1%	+	Terbentuk endapan putih
Polifenol	Besi III Klorida ($FeCl_3$)	+	Terbentuk warna hijau kehitaman
Alkaloid	Mayer	+	Terbentuk endapan putih
	Wagner	+	Terbentuk endapan coklat
	Dragendorf	+	Terbentuk endapan jingga/oranye
Saponin	Air panas + HCl 1 N	+	Terbentuk busa stabil
Triterpenoid dan Steroid	Liebermen Burchard	+	Terdapat warna hijau kebiruan pada sampel

3.3 Karakteristik Simplisia Kulit Jengkol

Pengujian karakteristik serbuk simplisia dilakukan sebagai upaya untuk menilai mutu dari serbuk simplisia yang digunakan. Hasil analisis karakteristik serbuk simplisia tersebut disajikan pada Tabel 2 berikut.

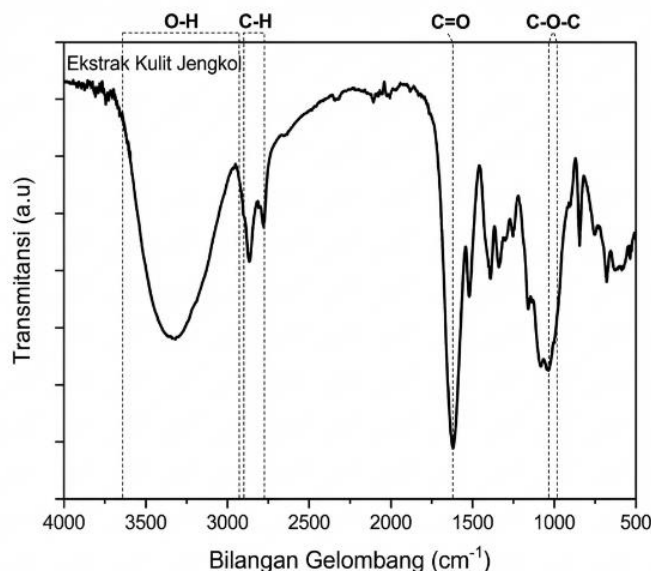
Tabel 2. Hasil pemeriksaan karakterisasi serbuk simplisia kulit jengkol

No	Parameter	Hasil Pemeriksaan (%)	Batas Minimum-Maksimum
1	Kadar air	3,32%	< 5,2%
2	Kadar sari larut dalam air	14,23%	> 7,9%
3	Kadar sari larut dalam etanol	30,83%	> 3,9%
4	Kadar abu total	1,90%	< 7,2%
5	Kadar abu tidak larut asam	0,42%	< 1,2%

Berdasarkan hasil penilaian terhadap karakteristik serbuk simplisia, seluruh parameter yang diuji dinyatakan telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam Farmakope Herbal. Kadar sari yang dapat larut dalam air diperoleh sebesar 14,23%, nilai ini secara nyata berada di atas batas minimal yang dipersyaratkan, yaitu 7,9%. Sementara itu, kadar sari yang larut dalam etanol tercatat sebesar 30,83%, yang juga menunjukkan nilai jauh lebih tinggi dibandingkan ketentuan minimum sebesar 3,9%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa simplisia mengandung senyawa aktif dalam jumlah yang relatif tinggi, baik yang bersifat polar maupun yang larut dalam pelarut organik seperti etanol. Keberadaan senyawa-senyawa tersebut berpotensi mendukung optimalisasi proses ekstraksi komponen bioaktif yang diperlukan dalam pengembangan sediaan farmasi maupun terapi berbasis herbal (Ginting et al., 2025).

3.4 Identifikasi Ekstrak Kulit Jengkol Menggunakan FTIR

Ekstrak air kulit jengkol dilakukan analisis menggunakan spektrofotometer FTIR untuk mengetahui jenis gugus fungsi yang terdapat pada senyawa penyusunnya. Hasil karakterisasi FTIR dari ekstrak kulit jengkol tersebut ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Spektrum FTIR dari ekstrak kulit jengkol

Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa kulit jengkol mengandung berbagai gugus fungsi yang diperkirakan berkontribusi dalam proses sintesis nanopartikel. Interpretasi spektrum FTIR memperlihatkan adanya pita serapan pada bilangan gelombang 3.600–3.000 cm⁻¹, yang berhubungan dengan vibrasi peregangan ikatan O–H dari gugus hidroksil pada permukaan senyawa atau molekul air yang teradsorpsi. Keberadaan pita tersebut mencerminkan adanya ikatan hidrogen dan merupakan ciri khas yang umumnya ditemukan pada senyawa fenolik yang berasal dari bahan tumbuhan (Dwisaksana & Tukiran, 2021). Puncak kedua yang teramati pada sekitar 2.755–2.960 cm⁻¹ dapat diasosiasikan dengan vibrasi peregangan ikatan tunggal gugus C–H yang menandakan adanya golongan senyawa alkana. Lalu puncak ketiga terdeteksi pada daerah sekitar 1.675–1.500 cm⁻¹ menandakan adanya regangan ikatan rangkap yaitu gugus C=O golongan senyawa keton dan ikatan C=C aromatik (Puspitasari et al., 2021). Sementara itu, puncak keempat terdeteksi pada daerah sekitar 1.100–1.000 cm⁻¹ menunjukkan vibrasi regangan ikatan kelompok C–O (Rani et al., 2023). Adanya gugus fungsi OH terikat, CH alifatik, C=O, C=C aromatik, C–O dan C–H aromatik merupakan ciri-ciri dari senyawa flavonoid (Dwisaksana & Tukiran, 2021). Hasil interpretasi spektrum FTIR tersebut diperkuat oleh temuan penapisan fitokimia yang menunjukkan keberadaan gugus fungsi alkohol, yang mengindikasikan adanya senyawa metabolit sekunder dari golongan steroid dan tanin. Selain itu, teridentifikasinya gugus C=C aromatik menunjukkan keberadaan senyawa metabolit dari golongan flavonoid serta tanin (Puspitasari et al., 2021).

3.5 Pengujian Antijamur

Dalam penelitian ini, kemampuan antijamur terhadap *Candida albicans* dievaluasi menggunakan teknik difusi sumuran (*Well diffusion*). Berdasarkan hasil pengamatan yang terlihat dalam gambar 2., telah ditemukan bahwa nanopartikel ZnO memiliki kemampuan untuk menghalangi jamur *Candida albicans*.

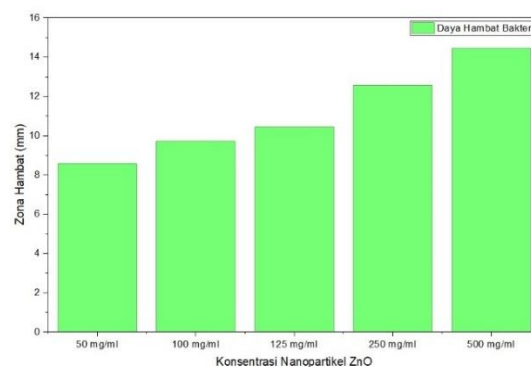


Gambar 2. Hasil Uji Antijamur Nanopartikel ZnO dalam berbagai konsentrasi.

Hasil pembentukan zona hambat di sekitar sumuran ditunjukkan dalam pengujian untuk menentukan konsentrasi hambat minimum (Nasri et al., 2023). Peningkatan efektivitas hambatan nanopartikel ZnO akan tercermin pada bertambah lebarnya zona bening di sekitar sumur (Nasri et al. 2024). Selain itu, variasi konsentrasi turut menentukan seberapa kuat nanopartikel ZnO menekan pertumbuhan jamur *Candida albicans* (Ahmadpour Kermani et al., 2021). Kontrol positif pada pengujian ini menggunakan ketokonazol, sedangkan kontrol negatif memakai pelarut DMSO (Lubis et al. 2023). Pelarut ini bersifat polar aprotik dan mampu melarutkan berbagai senyawa organik maupun anorganik, sehingga ZnO dapat terdispersi dengan baik dan memberikan efek antijamur yang lebih maksimal (Fathanah et al., 2022). Selain itu, DMSO diketahui tidak memiliki aktivitas antibakteri maupun antijamur, sehingga tidak memberikan pengaruh terhadap pertumbuhan mikroorganisme uji. Ketokonazol digunakan sebagai kontrol positif karena memiliki tingkat sensitivitas yang lebih tinggi terhadap *Candida albicans* dibandingkan dengan golongan azol lainnya (Tilu et al., 2023). Pengujian aktivitas antijamur dilakukan sebanyak tiga kali ulangan untuk setiap sampel, dan hasil pengamatan disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Diameter Hambat Hasil Uji Antijamur Nanopartikel ZnO

Konsentrasi NPs-ZnO	Perlakuan			Diameter zona hambat (mm ± SD)	Kategori
	1	2	3		
Kontrol Positif (Ketokonazol)	31,28	31,35	31,19	31,27 ± 0,08	Sangat Kuat
Kontrol Negatif (DMSO)	0,00	0,00	0,00	0,00 ± 0,00	Tidak Ada
50 mg/ml	8,80	8,40	8,52	8,57 ± 0,20	Lemah
100 mg/ml	9,89	9,59	9,69	9,72 ± 0,15	Lemah
125 mg/ml	10,50	10,35	10,48	10,44 ± 0,08	Sedang
250 mg/ml	12,70	12,46	12,55	12,57 ± 0,12	Sedang
500 mg/ml	14,49	14,40	14,51	14,46 ± 0,05	Sedang



Gambar 3. Grafik Uji Aktivitas Antijamur Nanopartikel ZnO

Hasil pengujian memperlihatkan bahwa nanopartikel ZnO memiliki kemampuan antijamur terhadap *Candida albicans*, yang tampak dari terbentuknya zona hambat di area sekitar sumuran. Temuan ini juga mengindikasikan bahwa peningkatan konsentrasi ZnO sejalan dengan meningkatnya efektivitas penghambatan (Nasri et al., 2023). Hal tersebut disebabkan oleh pengaruh perbedaan konsentrasi terhadap jumlah atau kadar larutan uji yang terdapat di dalam sumuran, demikian pula pada uji statistik menghasilkan nilai signifikansi $<0,05$, yang menandakan bahwa variasi konsentrasi nanopartikel ZnO memberikan pengaruh bermakna terhadap pertumbuhan jamur *Candida albicans*. Pada penelitian ini, daya antijamur paling kuat diperoleh pada konsentrasi tertinggi, yaitu 500 mg/ml, sedangkan efek paling rendah terlihat pada konsentrasi 50 mg/ml. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa perbedaan konsentrasi berperan penting dalam menentukan aktivitas antijamur nanopartikel ZnO terhadap pertumbuhan *Candida albicans*. Hasil penelitian ini konsisten dengan Kermani et al., yang menunjukkan bahwa peningkatan persentase ZnO-NPs memperkuat aktivitas antimikroba (Ahmadpour Kermani et al., 2021).

Tingginya zona hambat serta tidak ditemukannya pertumbuhan *Candida albicans* mengindikasikan bahwa kerusakan membran sel merupakan faktor utama yang berperan dalam sifat fungisida nanopartikel ZnO (ZnO-NPs) (Al-Nema et al., 2024). Gangguan awal ini dipicu oleh interaksi elektrostatis antara ion Zn^{2+} bermuatan positif yang dilepaskan dari permukaan ZnO-NPs dengan komponen bermuatan negatif pada dinding dan membran sel *Candida albicans*, seperti fosfolipid dan protein membran (Rhamdiyah et al., 2022). Interaksi tersebut memicu akumulasi ion Zn^{2+} pada membran dan memperlemah stabilitas struktur lipid serta protein membran sehingga menyebabkan destabilitas struktur membran, meningkatkan permeabilitas sel, serta memfasilitasi penetrasi nanopartikel ke dalam sel jamur (Jin & Jin, 2021). Fenomena ini selaras dengan temuan ultrastruktural berupa pembentukan lubang dinding sel serta ruptur membran setelah perlakuan ZnO-NPs.

Efektivitas antijamur ZnO-NPs sangat dipengaruhi oleh ukurannya yang berada pada skala nanometer. Ukuran nanopartikel memberikan rasio luas permukaan terhadap volume yang sangat tinggi, sehingga meningkatkan jumlah situs aktif yang tersedia untuk berinteraksi dengan sel mikroba. ROS terbentuk melalui reaksi redoks pada permukaan ZnO-NPs, terutama ketika nanopartikel berinteraksi langsung dengan lingkungan seluler yang kaya akan oksigen dan air. Luas permukaan spesifik yang tinggi ini mempercepat pelepasan ion Zn^{2+} serta meningkatkan kemampuan ZnO-NPs dalam menghasilkan *Reactive Oxygen Species* (ROS), seperti superoksida, radikal hidroksil, dan hidrogen peroksida (Vijayalakshmi et al., 2025).

ROS yang dihasilkan oleh ZnO-NPs berperan penting dalam menginduksi stres oksidatif pada *Candida albicans*. Spesies oksigen reaktif ini menyerang lipid membran melalui proses peroksidasi lipid, yang menyebabkan kerusakan integritas bilayer fosfolipid, hilangnya fluiditas membran, serta kebocoran komponen intraseluler (Vijayalakshmi et al., 2025). Selain itu, ROS juga dapat mengoksidasi protein membran dan enzim metabolik, sehingga mengganggu fungsi respirasi mitokondria, sintesis ATP, serta jalur metabolisme esensial jamur (Neogi et al., 2025).

Berdasarkan pengukuran zona hambat, kemampuan antijamur nanopartikel ZnO dikategorikan berada pada tingkat sedang, dengan diameter penghambatan sebesar 14 mm pada konsentrasi 500 mg/ml. Beberapa penelitian melaporkan bahwa ZnO-NPs yang disintesis menggunakan berbagai ekstrak tumbuhan menunjukkan variasi aktivitas antifungal yang signifikan tergantung pada sumber ekstrak, ukuran partikel, serta kandungan metabolit fitokimia yang menyertai nanopartikel (Wardani et al., 2024). Misalnya, nanopartikel ZnO yang disintesis dari *Cinnamomum tamala* aktif terhadap

Candida albicans dengan zona hambat 8 mm. Selain itu, nanopartikel ZnO yang disiapkan dari ekstrak *Brassica oleracea* var. *Italica* menunjukkan efektivitas dengan zona hambat 8 mm terhadap jamur *candida albicans* (Pillai et al., 2020).

Efektivitas ZnO-NPs sangat dipengaruhi oleh senyawa yang hadir dalam ekstrak tanaman yang digunakan sebagai agen pereduksi/capping selama sintesis (Raza et al., 2024). Senyawa seperti flavonoid, tanin, dan fenolik yang lebih kaya dalam kulit jengkol dapat menghasilkan sifat permukaan nanopartikel yang berbeda, serta memberi mekanisme antijamur tambahan. Fitokimia yang lebih baik sebagai “capping agent” dapat menghasilkan ukuran partikel lebih kecil dan permukaan yang lebih aktif, yang meningkatkan interaksi dengan dinding sel jamur serta generasi ROS yang lebih efektif (Repiani et al., 2025).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan temuan penelitian, keberadaan zona hambat yang terbentuk di sekitar sumuran menunjukkan bahwa nanopartikel ZnO yang disintesis dengan kulit jengkol memiliki aktivitas antijamur dalam menekan pertumbuhan *Candida albicans*, dengan tingkat efektivitas paling optimal diperoleh pada konsentrasi 500 mg/mL. Peningkatan konsentrasi nanopartikel ZnO terbukti diikuti oleh bertambahnya diameter zona hambat. Analisis statistik terhadap data zona penghambatan menunjukkan nilai signifikansi <0,05, yang menegaskan bahwa perbedaan konsentrasi nanopartikel ZnO memberikan pengaruh bermakna terhadap kemampuan penghambatan *Candida albicans* pada berbagai tingkat konsentrasi.

REFERENCES

- Ahmadpour Kermani, S., Salari, S., & Ghasemi Nejad Almani, P. (2021). Comparison of antifungal and cytotoxicity activities of titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles with amphotericin B against different *Candida* species: In vitro evaluation. *Journal of Clinical Laboratory Analysis*, 35(1), e23577. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jcla.23577>
- Ahmed, J., Farhana, Manzoor, G. A., Kaleri, A. R., Zulfikar, B., Waheed, A., Iqbal, R., & Rahimi, M. (2025). In-vitro antifungal potential of myco versus bacteria synthesized ZnO NPs against chickpea and apricot pathogen. *Scientific Reports*, 15(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-84438-5>
- Alfauzi, R. A., Hartati, L., Suhendra, D., Rahayu, T. P., & Hidayah, N. (2022). Ekstraksi senyawa bioaktif kulit jengkol (*Archidendron jiringa*) dengan konsentrasi pelarut metanol berbeda sebagai pakan tambahan ternak ruminansia. *Jurnal Ilmu Nutrisi Dan Teknologi Pakan*, 20(3), 95–103. <https://doi.org/https://doi.org/10.29244/jintp.20.3.95-103>
- Al-Nema, H., Al-Nema, L., & Al-Ali, A. (2024). The Antimicrobial Activity of Zinc Oxide Nanoparticles incorporated into Alginate Impression Material: An In vitro Study. *Journal of International Society of Preventive and Community Dentistry*, 14(6), 497–505. https://doi.org/10.4103/jispcd.jispcd_112_24
- Apriani, P., Marcellia, S., & Nofita, N. (2023). Uji Aktivitas Antijamur Ekstrak Etanol Kulit Buah Mahoni (*Swietenia mahagoni* L.) Terhadap *Candida albicans*. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, 1–10. <https://doi.org/https://doi.org/10.23960/aec.v8i1.2023.p1-10>
- Arifin, F. S., & Nazriati. (2022). JURNAL TEKNIK KIMIA-USU Biosintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Seng Oksida (ZnO-NPs) Menggunakan Ekstrak Daun Kenitu (*Chrysophyllum cainito* L.). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 11(2), 56–63. <https://doi.org/https://doi.org/10.32734/jtk.v11i2.9127>

- Bachmid, S. N., Dewi, C., & Ridwan, B. A. (2022). Formulasi Sediaan Gel Pembersih Gigi Infusa Daun Jeruk Nipis (*Citrus aurantifolia* Swingle.) Dan Uji Aktivitas Terhadap Bakteri *Streptococcus mutans*. *Jurnal Pharmacia Mandala Waluya*, 1(6), 278–289. <https://doi.org/10.54883/jpmw.v1i6.54>
- Dalimunthe, A., Pertiwi, D., Muhmmad, M., Kaban, V. E., Nasri, N., & Satria, D. (2022). The effect of extraction methods towards antioxidant activity of ethanol extract of *Picria fel-terrae* Lour. Herbs. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1115(1), 012040. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1115/1/012040>
- Djearamane, S., Xiu, L.-J., Wong, L.-S., Rajamani, R., Bharathi, D., Kayarohanam, S., De Cruz, A. E., Tey, L.-H., Janakiraman, A. K., & Aminuzzaman, M. (2022). Antifungal properties of zinc oxide nanoparticles on *Candida albicans*. *Coatings*, 12(12), 1864. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/coatings12121864>
- Dwisaksana, A., & Tukiran, T. (2021). ANALISIS SPEKTROSKOPI UV-VIS DAN FTIR SENYAWA HASIL ISOLASI DARI EKSTRAK DIKLOROMETANA KULIT BATANG TUMBUHAN JAMBU SEMARANG (*SYZYGIUM SAMARANGENSE*). *Unesa Journal of Chemistry*, 10(2), 121–127. <https://doi.org/https://doi.org/10.26740/ujc.v10n2.p121-127>
- Fathanah, U., Razi, F., Lubis, M. R., Yusuf, M., Syamsuddin, Y., Meilina, H., Muchtar, S., Kamaruzzaman, S., & Khairunnisa, A. (2022). Modifikasi Membran Polyethersulfone dengan Penambahan Nanopartikel Mg (OH) 2 dalam Pelarut Dimethyl Sulfoxide. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 18(2), 165–173. <https://doi.org/https://doi.org/10.20961/alchemistry.18.2.58248.165-173>
- Fitriani, H. S., Pratama, A. R., Musyarrofah, L., & Mirta, S. Bin. (2025). REVIEW: POTENSI DAN ASPEK KEAMANAN BAHAN ALAM LOKAL INDONESIA SEBAGAI ANTI ACNE. *Jurnal Inovasi Bahan Lokal Dan Pemberdayaan Masyarakat*, 4(2), 66–73. <https://doi.org/10.34011/jibpm.v4i2.4369>
- Ginting, A. N. B., Kaban, V. E., Bangar, R. I., & Harahap, D. W. S. (2025). Formulasi dan uji aktivitas antibakteri gel minyak atsiri rimpang lengkuas merah (*Alpinia purpurata* K. Schum) terhadap *Propionibacterium acnes*. *INSOLOGI: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 4(1), 75–88. <https://doi.org/https://doi.org/10.55123/insologi.v4i1.4844>
- Herawati, M., Deviyanti, S., & Ferhad, A. (2021). The antifungal potential of *Stevia rebaudiana* Bertoni leaf extract against *Candida albicans*. *Journal of Indonesian Dental Association*, 4(1), 55–60. <https://doi.org/http://jurnal.pdgi.or.id/index.php/jida/article/view/515>
- Hidayatunnikmah, N., Latifah, A., Rosyida, D. A. C., & Safitri, S. D. (2022). Aktivitas Antimikroba Ekstrak Daun Mulberry (*Morus Rubra* L) Terhadap Penghambatan Pertumbuhan Jamur *Candida Albicans*-In Vitro. *JIK (Jurnal Ilmu Kesehatan)*, 6(1), 175–183. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.33757/jik.v6i1.513>
- Jayachandran, A., T.R., A., & Nair, A. S. (2021). Green synthesis and characterization of zinc oxide nanoparticles using *Cayratia pedata* leaf extract. *Biochemistry and Biophysics Reports*, 26. <https://doi.org/10.1016/j.bbrep.2021.100995>
- Katsipoulaki, M., Stappers, M. H. T., Malavia-Jones, D., Brunke, S., Hube, B., & Gow, N. A. R. (2024). *Candida albicans* and *Candida glabrata* : global priority pathogens . *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 88(2). <https://doi.org/10.1128/mmbr.00021-23>
- Kessler, S. Q. S., Lang, P. M., Dal-Pizzol, T. S., & Montagner, F. (2022). Resistance profiles to antifungal agents in *Candida albicans* isolated from human oral cavities: systematic review and meta-analysis. *Clinical Oral Investigations*, 26(11), 6479–6489. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00784-022-04716-2>
- Mosquera-Sánchez, L. P., Arciniegas-Grijalba, P. A., Patiño-Portela, M. C., Guerra-Sierra, B. E., Muñoz-Florez, J. E., & Rodríguez-Páez, J. E. (2020). Antifungal effect of zinc oxide nanoparticles (ZnO-NPs) on *Colletotrichum* sp., causal agent of anthracnose in coffee crops. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 25. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101579>

- Mursyida, E., & Anjeli, Y. P. (2025). Nanopartikel Perak dari Ekstrak Kulit Nanas: Potensi Antifungal terhadap *Malassezia furfur* ATCC 14521. *Termometer: Jurnal Ilmiah Ilmu Kesehatan Dan Kedokteran*, 3(1), 101–114. <https://doi.org/https://doi.org/10.55606/termometer.v3i1.4563>
- Nasri, N., Kaban, V. E., Rani, Z., Suci, N., Ferendina, I., & Tania, C. G. (2025). Potential Antioxidant and Antibacterial Activity of Curry Leaf Ethanol Extract (*Murraya koenigii*) against *Propionibacterium acnes*. *Journal of Pharmaceutical and Sciences*, 2398–2408. <https://doi.org/https://doi.org/10.36490/journal-jps.com.v8i4.881>
- Nasri, N., Kaban, V. E., Satria, D., Syahputra, H. D., & Rani, Z. (2023). Mekanisme antibakteri ekstrak etanol daun kemangi (*Ocimum basilicum* L.) terhadap *Salmonella typhi*. *Journal of Pharmaceutical and Health Research*, 4(1), 79–84. <https://doi.org/https://doi.org/10.47065/jharma.v4i1.3176>
- Nugroho, I. W. B., Arshy, D. P., Yosita Elza Defitri, & Wafiq Rifqi Abdul Wafi. (2024). Biosintesis Nanopartikel Seng Oksida dengan Ekstrak Limbah Kulit Pisang Tanduk (*Musa paradisiaca* fa. *corniculata*). *Journal of Biobased Chemicals*, 4(2), 94–111. <https://doi.org/10.19184/jobc.v4i2.1155>
- Nurmiati, N., Periadnadi, P., & Apriyelita, A. (2024). Antimicrobial Activity of Soaked and Boiled Jengkol Fruit Skin Extract against *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* and *Candida albicans*. *Jurnal Biologi Tropis*, 24(3), 247–252. <https://doi.org/10.29303/jbt.v24i3.7193>
- Puspitasari, L., Mareta, S., & Thalib, A. (2021). Karakterisasi senyawa kimia daun mint (*Mentha* sp.) dengan metode FTIR dan kemometrik. *Sainstech Farma: Jurnal Ilmu Kefarmasian*, 14(1), 5–11. <https://doi.org/https://doi.org/10.37277/sfj.v14i1.931>
- Ramesh, P., Saravanan, K., Manogar, P., Johnson, J., Vinoth, E., & Mayakannan, M. (2021). Green synthesis and characterization of biocompatible zinc oxide nanoparticles and evaluation of its antibacterial potential. *Sensing and Bio-Sensing Research*, 31. <https://doi.org/10.1016/j.sbsr.2021.100399>
- Rani, Z., Nasution, H. M., Kaban, V. E., Nasri, N., & Karo, N. B. (2023). Antibacterial activity of freshwater lobster (*Cherax quadricarinatus*) shell chitosan gel preparation against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 13(2), 146–153. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2023.130216>
- Reningtyas, R., & Aulia Ikhsan, M. (2024). Kemajuan Terkini dalam Ekstraksi Senyawa Bioaktif dari Biji-Bijian (Review) Recent Advances in the Extraction of Bioactive Compounds from Grains (Review). In *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia* (Vol. 21, Issue 2). <https://doi.org/https://doi.org/10.31315/e.v21i2.12496>
- Ridwanto, R., Aprilia, H., Rani, Z., Fauzi, Z. P. A., Kaban, V. E., & Nasri, N. (2024). Antibacterial Activity Test of Malacca Leaf Extract (*Phyllanthus emblica*) Against *Staphylococcus aureus* and *Staphylococcus epidermidis* Bacteria. *Indonesian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 7(1), 22–27. <https://doi.org/https://doi.org/10.32734/idjpcr.v7i1.17912>
- Rifkia, V. (2020). Pengaruh Variasi Suhu dan Waktu terhadap Rendemen dan Kadar Total Flavonoid pada Ekstraksi Daun *Moringa oleifera* Lam. dengan Metode Ultrasonik The Effect of Temperature and Time of Extraction on the Yield and Total Flavonoid Content of *Moringa oleifera* Lam. by Ultrasonic Method. In *Pharmaceutical Journal of Indonesia* (Vol. 17, Issue 02). <https://doi.org/https://doi.org/10.30595/pharmacy.v17i2.7752>
- Sakti, A. S., Rahmawati, V. A. E., & Fazadini, S. Y. (2024). PENGARUH PEMILIHAN METODE EKSTRAKSI INFUSA VS DEKOKTA TERHADAP KADAR TOTAL SENYAWA FENOLIK EKSTRAK TANAMAN KROKOT (*Portulaca oleracea* Linn.). *Jurnal Ilmiah Farmasi Farmasyifa*, 7(2), 228–249. <https://doi.org/10.29313/jiff.v7i2.3256>
- Santoso, T., Sukmawati, S., & Miranti, A. (2021). Uji Efektivitas Air Perasan Jeruk Nipis (*Citrus aurantifolia* (Christm.) Swingle) Dalam Menghambat Pertumbuhan Jamur *Candida albicans*. *HerbaPharma: Journal of Herb Pharmacological*, 3(2), 96–101. <https://doi.org/https://doi.org/10.55093/herbapharma.v3i2.279>

- Santoso, U., Utari, M., & Marpaung, M. P. (2020). Aktivitas antibakteri dan antijamur ekstrak Batang Akar Kuning (*Fibraurea chloroleuca* Miers) terhadap *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* dan *Candida albicans*. *Jurnal Kesehatan Bakti Tunas Husada: Jurnal Ilmu-Ilmu Keperawatan, Analisis Kesehatan Dan Farmasi*, 20(2), 194–208. <https://doi.org/https://doi.org/10.36465/jkbth.v20i2.611>
- Sharmin, S., Rahaman, M. M., Sarkar, C., Atolani, O., Islam, M. T., & Adeyemi, O. S. (2021). Nanoparticles as antimicrobial and antiviral agents: A literature-based perspective study. *Heliyon*, 7(3). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06456>
- Siswandi, S., Astuti, R., & Maimunah, M. (2020). Uji In-Vitro Ekstrak Kulit Jengkol (*Pithecellobium jiringa*) sebagai Biofungisida terhadap *Fusarium oxysporum*, *Colletotrichum capsici*, dan *Cercospora capsici* pada Tanaman Cabai. *Jurnal Ilmiah Pertanian (JIPERTA)*, 2(2), 144–157. <https://doi.org/https://doi.org/10.31289/jiperta.v2i2.332>
- Sudjarwo, G. W., & Rosalia, M. S. (2019). Uji Aktivitas Anti Jamur Nanopartikel Kitosan Terhadap Jamur *Candida albicans* secara In Vitro. *Prosiding Seminakel*, 50–57. <https://doi.org/https://prosidingseminakel.hangtuah.ac.id/index.php/jurnal/article/view/43>
- Tilu, M. A., Pusmarani, J., & Juliansyah, R. (2023). Uji Aktivitas Antijamur Ekstrak Etanol Biji Keben (*Barringtonia asiatica* L.) Terhadap Jamur *Malassezia furfur*. *Jurnal Pharmacia Mandala Waluya*, 2(4), 199–210. <https://doi.org/https://doi.org/10.54883/jpmw.v2i4.23>
- Tri, R., Yasni, S., Muhandri, T., Sri Yuliani, dan, & Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian, B. (2022). *Pengaruh Metode Ekstraksi Terhadap Kualitas Ekstrak Kulit Manggis (Garcinia mangostana L.)*. 15(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.52072/unitek.v15i2.389>
- Vargas Hernández, R., Alvarez Lemus, M. A., De la Rosa García, S., López González, R., Quintana, P., García Zaleta, D., Velázquez Vázquez, V., & Gómez Cornelio, S. (2024). Antifungal Activity of ZnO Nanoparticles Synthesized from *Eichhornia crassipes* Extract for Construction Applications. *Nanomaterials*, 14(12). <https://doi.org/10.3390/nano14121007>
- Villagrán, Z., Anaya-Esparza, L. M., Velázquez-Carriles, C. A., Silva-Jara, J. M., Ruvalcaba-Gómez, J. M., Aurora-Vigo, E. F., Rodríguez-Lafitte, E., Rodríguez-Barajas, N., Balderas-León, I., & Martínez-Esquivias, F. (2024). Plant-Based Extracts as Reducing, Capping, and Stabilizing Agents for the Green Synthesis of Inorganic Nanoparticles. In *Resources* (Vol. 13, Issue 6). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/resources13060070>
- Vinceković, M., Živković Genzić, L., Jalšenjak, N., Kaliterna, J., Rezić Meštrović, I., Majdak, M., Šegota, S., Marciuš, M., Svečnjak, L., Kos, I., Švenda, I., & Martinko, K. (2025). Antifungal Activity of Ag and ZnO Nanoparticles Co-Loaded in Zinc–Alginate Microparticles. *Sustainability (Switzerland)*, 17(24). <https://doi.org/10.3390/su172411374>
- Zalukhu, Z. K., & Widiyarti, S. H. (2025). Pengaruh Pengetahuan Tentang *Candida Albicans* Dengan Perilaku Personal Hygiene Mahasiswi Fakultas Keperawatan Di Universitas Advent Indonesia. *Jurnal Locus Penelitian Dan Pengabdian*, 4(5), 1516–1526. <https://doi.org/https://doi.org/10.58344/locus.v4i4.4080>