

Antifungal Activity of Zinc Oxide (ZnO) Nanoparticles Synthesized Using Areca Catechu L. (Areca Nut) Peel Extract against *Candida albicans*.

Aktivitas Antijamur Nanopartikel Zinc Oxide (ZnO) yang Disintesis Menggunakan Ekstrak Kulit pinang Muda (*Areca catechu L.*) terhadap *Candida albicans*.

Arlimawati Pakpahan^a, Vera Estefania Kaban^{a,b*}, Astriani Natalia Br Ginting^{a,b}

^a Department of Clinical Pharmacy, Faculty of Health Sciences, Universitas Prima Indonesia, Medan, Indonesia.

^b PUII Phyto Degenerative & Lifestyle Medicine, Universitas Prima Indonesia, Medan, Indonesia.

*Corresponding Authors: veraestefaniakaban@unprimdn.ac.id

Abstract

Introduction: Infections caused by *Candida albicans* continue to pose serious clinical problems, largely due to increasing resistance to conventional antifungal drugs and the limited availability of therapeutic options. Therefore, the development of novel, effective, and safe antifungal agents using nature-based nanotechnology approaches is urgently needed. **Objective:** This study aimed to synthesize Zinc Oxide (ZnO) nanoparticles using a green synthesis method with aqueous extract of young areca nut peel (*Areca catechu L.*) and to evaluate their antifungal activity against *Candida albicans*. **Methods:** The research procedures included raw material and extract characterization, functional group identification using FTIR, ZnO nanoparticle synthesis, and antifungal activity testing using the well diffusion method at concentrations of 25, 50, 100, 125, 250, and 500 mg/mL. Data were analyzed using SPSS at a significance level of 0.05. **Results:** The biosynthesized ZnO nanoparticles exhibited inhibitory activity against *Candida albicans* at all tested concentrations. The inhibition zone diameter increased from 12.1 ± 0.65 mm at the lowest concentration to 20.2 ± 1.14 mm at the highest concentration. Statistical analysis revealed significant differences among concentrations ($p < 0.05$), indicating a clear dose-response relationship. **Conclusion:** ZnO nanoparticles biosynthesized using young areca nut peel extract possess significant antifungal activity against *Candida albicans* and have the potential to be developed as an environmentally friendly alternative agent for managing fungal infections. However, further characterization is required to confirm the physicochemical properties of the resulting nanoparticles.

Keywords: ZnO Nanoparticles, young *Areca catechu peel*, Antifungal, *Candida albicans*.

Abstrak

Pendahuluan: Infeksi akibat *Candida albicans* masih menjadi masalah klinis yang serius terutama karena meningkatnya resistensi terhadap obat antijamur konvensional serta terbatasnya pilihan terapi yang tersedia. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan agen antijamur baru yang lebih efektif dan aman, salah satunya melalui pendekatan nanoteknologi berbasis bahan alam. **Tujuan:** Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis nanopartikel Zinc Oxide (ZnO) menggunakan ekstrak air kulit pinang muda (*Areca catechu L.*) melalui metode *green synthesis* serta mengevaluasi aktivitas antijamurnya terhadap *Candida albicans*. **Metode:** Prosedur penelitian meliputi karakterisasi simplisia dan ekstrak, identifikasi gugus fungsi menggunakan FTIR, sintesis nanopartikel ZnO, serta uji aktivitas antijamur dengan metode difusi sumuran pada konsentrasi 25, 50, 100, 125, 250, dan 500 mg/mL. Data dianalisis menggunakan SPSS pada tingkat signifikansi 0,05. **Hasil:** Nanopartikel ZnO yang disintesis menunjukkan aktivitas penghambatan terhadap *Candida albicans* pada seluruh konsentrasi yang diuji. Diameter zona hambat meningkat dari $12,1 \pm 0,65$ mm (konsentrasi terendah) menjadi $20,2 \pm 1,14$ mm (konsentrasi tertinggi). Uji statistik menunjukkan perbedaan yang signifikan antar konsentrasi ($p < 0,05$), mengindikasikan adanya hubungan dosis-respons yang jelas. **Kesimpulan:** Nanopartikel ZnO hasil biosintesis menggunakan ekstrak kulit pinang muda memiliki aktivitas antijamur yang bermakna terhadap *Candida albicans* dan berpotensi dikembangkan sebagai agen alternatif yang lebih ramah lingkungan dalam pengelolaan infeksi jamur, meskipun diperlukan karakterisasi lanjutan untuk memastikan sifat fisikokimia nanopartikel yang dihasilkan.

Kata Kunci: Nanopartikel ZnO, kulit pinang muda, Antijamur, *Candida albicans*.



Copyright © 2020 The author(s). You are free to : **Share** (copy and redistribute the material in any medium or format) and **Adapt** (remix, transform, and build upon the material) under the following terms: **Attribution** — You must give appropriate credit, provide a link to the license, and indicate if changes were made. You may do so in any reasonable manner, but not in any way that suggests the licensor endorses you or your use; **NonCommercial** — You may not use the material for commercial purposes; **ShareAlike** — If you remix, transform, or build upon the material, you must distribute your contributions under the same license as the original. Content from this work may be used under the terms of the a [Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International \(CC BY-NC-SA 4.0\) License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

<https://doi.org/10.36490/journal-jps.com.v9i2.1610>

Article History:

Received: 02/04/2026,
Revised: 08/06/2026,
Accepted: 09/06/2026,
Available Online : 12/06/2026.

QR access this Article



Pendahuluan

Infeksi jamur merupakan salah satu masalah kesehatan yang sering dijumpai, terutama mereka dengan sistem imun yang lemah. Kondisi ini dapat menyerang kulit, kuku, rongga mulut, hingga organ reproduksi, dan kerap menimbulkan keluhan yang berulang. Pada kelompok ini, infeksi dapat berkembang cepat dan terjadi ketika kondisi tubuh tidak lagi mampu mengendalikan pertumbuhan jamur yang sebagian besar kasus bersifat oportunistik [1]. Ditambah lagi dengan masalah pilihan obat antijamur yang terbatas dan resistensi yang terus meningkat [2]. Penemuan obat baru juga berjalan cukup lambat, sehingga obat yang lazim digunakan untuk infeksi *Candida albicans* meliputi nistatin, ketokonazol, klotrimazol, flukonazol, itrakonazol, dan amfoterisin B, yang memiliki efek samping yang serius seperti alergi, immunosupresi, dan hipersensitivitas turut membatasi terapi [3]. Kondisi ini menuntut pengembangan agen antijamur baru yang lebih efektif dan aman.

Salah satu pengembangan antijamur yaitu dibiadang Nanopartikel yang berukuran 1–100 nm yang memiliki luas permukaan besar dan reaktivitas tinggi, sehingga mampu berinteraksi langsung dengan struktur penting sel mikroba. Nanopartikel dapat merusak dinding dan membran sel, mengganggu protein, bahkan memengaruhi materi genetik [4]. Dalam satu dekade terakhir, nanopartikel zinc oxide (ZnO), telah menarik perhatian karena dilaporkan memiliki aktivitas antimikroba yang luas, termasuk terhadap jamur, serta stabil secara biologis, dan telah banyak diaplikasikan di berbagai bidang seperti kedokteran, kosmetik, kemasan pangan, dan fotokatalisis [5]. Nanopartikel ZnO dapat disintesis melalui metode kimia seperti sol-gel, mikroemulsi, dan presipitasi homogen. Namun, pendekatan ini memerlukan bahan kimia tambahan, energi besar, dan biaya tinggi [6].

Solusi dari kendala yang dihadapi saat ini, maka dilakukan metode sintesis berbasis bahan alam, karena tidak memerlukan energi tinggi maupun bahan kimia berbahaya, serta lebih sederhana dan ekonomis [7]. Green synthesis berbasis tanaman semakin diminati, karna tanaman mengandung makromolekul bioaktif yang dapat bertindak sebagai agen pereduksi sekaligus penstabil dalam pembentukan nanopartikel ZnO. Cara ini menghasilkan nanopartikel ZnO dengan biokompatibilitas yang lebih baik untuk aktivitas antijamur. Beberapa penelitian melaporkan bahwa nanopartikel ZnO hasil biosintesis dengan ekstrak tumbuhan menunjukkan aktivitas antijamur terhadap *Candida albicans* dan *Aspergillus niger* [1],[2], dengan mekanisme yang melibatkan interaksi elektrostatis antara nanopartikel bermuatan positif dan membran sel bermuatan negatif, sehingga memicu kerusakan membran dan kematian sel [8].

Kulit pinang (*Areca catechu L.*) merupakan limbah pertanian yang melimpah dan belum dimanfaatkan secara optimal. Dalam penelitian Bemis (2023), diketahui bahwa Kulit pinang (*Areca catechu L.*) memiliki aktivitas sebagai agen pereduksi dalam nanopartikel dan mengandung flavonoid dalam jumlah besar dalam senyawa polifenol yang berpotensi sebagai agen antijamur [7].

Namun sampai saat ini, kajian mengenai pemanfaatan ekstrak kulit pinang dalam biosintesis ZnO-NPs dan pengujian aktivitas antijamurnya terhadap *Candida albicans* masih terbatas. Padahal, kombinasi antara pendekatan green synthesis dan potensi biologis tanaman lokal dapat memberikan nilai tambah yang penting. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan mensintesis nanopartikel ZnO menggunakan ekstrak kulit pinang (*Areca catechu L.*) serta mengevaluasi aktivitas antijamurnya terhadap *Candida albicans*. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memperkaya pengembangan agen antijamur berbasis nanoteknologi yang lebih ramah lingkungan dan relevan secara klinis.

Metode Penelitian

Tempat dan Waktu Penelitian

Sampel kulit pinang muda (*Areca catechu L.*) diambil pada pagi hari di Desa Sekayan, Kecamatan Kemuning, Kabupaten Indragiri Hilir, Provinsi Riau. Pemilihan waktu pengambilan dilakukan untuk menjaga kesegaran sampel simlisia dan mencegah perubahan kandungan metabolit sekunder yang signifikan. Seluruh tahapan penelitian, mulai dari preparasi ekstrak, sintesis nanopartikel Zinc Oxide (ZnO), hingga uji aktivitas antijamur terhadap *Candida albicans*, dilaksanakan di Laboratorium Universitas Prima Indonesia. Penelitian berlangsung selama 3 bulan dari 5 April - 5 Juli 2025.

Peralatan dan Bahan Penelitian

Pada penelitian kalia ini digunakan alat laboratorium yang meliputi: autoklaf, bunsen, cork borer, destilasi dean stark, *Fourier Transform Inframerah Spektroskopi* (FTIR), inkubator mikrobiologi, jangka sorong digital, laminar air flow cabinet, mikropipet, neraca analitik, oven, sentrifus, tanur, dan waterbath

Sementara itu, bahan yang digunakan meliputi aquadest, asam klorida, asam sulfat, natrium hidroksida, etanol, kloroform, dan *dimetil sulfoksida* (DMSO). Media yang digunakan adalah Potato Dextrose Agar (PDA) serta larutan standar McFarland 0,5 untuk penyesuaian kekeruhan suspensi mikroba. Uji aktivitas dilakukan terhadap *Candida albicans* menggunakan nanopartikel ZnO hasil sintesis ekstrak air kulit pinang, dengan ketokonazol sebagai kontrol positif.

Preparasi Kulit Pinang Muda (*Areca catechu L.*)

Kulit buah pinang muda dicuci di bawah air mengalir, lalu diangin-anginkan pada suhu ruang. Setelah itu, sampel dikeringkan dalam lemari pengering pada suhu 50°C selama 72 jam hingga benar-benar kering. Kulit pinang kemudian dipotong kecil, dihaluskan menggunakan blender, dan diayak dengan mesh 30. Sebanyak 10 g serbuk kulit pinang muda didestilasi dengan 100 mL air deionisasi (rasio 1:10 b/v). Campuran dipanaskan hingga 90°C dan dipertahankan selama 15 menit. Setelah itu, larutan disaring menggunakan kertas saring Whatman No.1. Filtrat yang diperoleh disimpan pada suhu 4°C dan siap digunakan dalam proses sintesis nanopartikel ZnO [7].

Karakterisasi Simplisia dan Ekstrak Air Kulit Pinang Muda (*Areca catechu L.*)

Karakterisasi simplisia dilakukan untuk memastikan mutu bahan sebelum proses biosintesis nanopartikel. Parameter yang diuji meliputi kadar air dengan metode destilasi azeotrof, kadar sari larut air dan etanol menggunakan maserasi terstandar, kadar abu total dengan gravimetri pada $\pm 600^\circ\text{C}$, serta kadar abu tidak larut asam menggunakan asam klorida encer, sesuai standar farmakope herbal [9]. Pengujian ini bertujuan menjamin stabilitas bahan dan menilai kandungan mineral serta kemungkinan kontaminasi.

Langkah selanjutnya skrining fitokimia secara kualitatif untuk mengidentifikasi keberadaan fenolik, flavonoid, tanin, dan alkaloid, karena kelompok senyawa ini berperan dalam mereduksi ion Zn^{2+} sekaligus menstabilkan nanopartikel yang terbentuk [7]. Selain itu, analisis FTIR terhadap ekstrak dilakukan pada rentang 4000–500 cm^{-1} guna mengamati gugus fungsi seperti $-\text{OH}$, $\text{C}=\text{O}$, dan $\text{C}-\text{O}$ yang terlibat dalam proses reduksi serta interaksi permukaan pada pembentukan nanopartikel ZnO [10].

Sintesis Nanopartikel Zink Oksida (ZnO)

Sebanyak 10 mL ekstrak air kulit pinang muda (*Areca catechu L.*) ditambahkan secara bertahap dengan laju ± 1 mL/menit ke dalam 100 mL larutan zinc nitrate (0,5 M). Campuran ion Zn^{2+} dan ekstrak diaduk menggunakan hotplate magnetic stirrer pada kecepatan 500 rpm pada suhu 25°C selama 30 menit untuk mendorong interaksi antara Zn^{2+} dan biomolekul aktif dalam ekstrak yang berperan sebagai agen pereduksi dan penstabil [11]. Kemudian pH larutan disesuaikan hingga 8 dengan penambahan NaOH (2 M). Campuran terus diaduk pada kecepatan 500 rpm menggunakan magnetic stirrer selama ± 1 jam pada suhu 70°C hingga terbentuk larutan berwarna putih kekuningan sebagai indikasi pembentukan ZnO [1].

Endapan dipisahkan melalui sentrifugasi pada 4.000 rpm pada suhu 4°C selama 20 menit hingga diperoleh serbuk ZnO berwarna putih. Serbuk dicuci 3 kali dengan akuades untuk menghilangkan sisa pengotor [7]. Selanjutnya, dikeringkan dalam oven pada suhu 70°C selama 24 jam. Tahap akhir dilakukan kalsinasi dalam muffle furnace pada suhu 400°C selama 2 jam untuk memperoleh nanopartikel ZnO yang stabil dan teroksidasi sempurna [1].

Uji Aktivitas Antijamur

Aktivitas antijamur nanopartikel ZnO terhadap *Candida albicans* diuji dengan metode difusi sumuran. Isolat terlebih dahulu ditumbuhkan pada media Potato Dextrose Agar (PDA) pada suhu 28 °C selama 24 jam untuk memperoleh kultur segar [12]. Koloni kemudian disuspensikan dalam NaCl steril 0,9% dan disesuaikan dengan standar 0,5 McFarland ($\pm 1 \times 10^6$ CFU/mL). Sebanyak 100 μ L suspensi diratakan di permukaan media PDA menggunakan swab steril [13].

Nanopartikel ZnO yang telah dikeringkan disuspensikan dalam DMSO untuk memperoleh konsentrasi 25, 50, 100, 125, 250, dan 500 mg/mL (b/v). Karena ZnO-NPs tidak larut sempurna dalam pelarut dan cenderung membentuk agregat, setiap suspensi dihomogenkan menggunakan ultrasonikasi selama 15 menit dan divorteks sebelum digunakan untuk memastikan dispersi partikel yang lebih merata [14]. Pada media yang telah diinokulasi dibuat sumuran berdiameter 8 mm menggunakan cork borer steril, kemudian masing-masing sumuran diisi dengan 50 μ L suspensi ZnO-NPs. Ketokonazol digunakan sebagai kontrol positif, sedangkan DMSO digunakan sebagai kontrol negatif. Seluruh cawan diinkubasi pada suhu 35 °C selama 48 jam, kemudian diameter zona hambat diukur menggunakan jangka sorong digital [12].

Analisa Data

Analisis data dilakukan menggunakan program SPSS. Normalitas diameter zona hambat rata-rata diuji dengan Shapiro–Wilk; data dinyatakan normal jika nilai signifikansi > 0,05. Uji homogenitas kemudian dilakukan untuk menilai keseragaman varians, dengan kriteria signifikansi > 0,05. Jika kedua asumsi terpenuhi, perbandingan antar kelompok dianalisis menggunakan One-Way ANOVA [15].

Hasil dan Pembahasan

Karakterisasi Simplisia Kulit Pinang Muda (*Areca catechu L.*)

Sebelum dilakukan tahapan ekstraksi, kulit pinang muda (*Areca catechu L.*) terlebih dahulu dilakukan proses karakterisasi, untuk memastikan mutu fisikokimianya sudah memenuhi persyaratan. Tahap ini penting agar bahan yang digunakan stabil, bebas kontaminan, dan layak diproses lebih lanjut dalam penelitian [16]. Hasil analisis karakterisasi serbuk kulit pinang muda disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakterisasi Simplisia Kulit Pinang Muda (*Areca catechu L.*)

Parameter	Hasil	Syarat MMI	Keterangan
Kadar Air	7,99%	$\leq 10\%$	Memenuhi
Kadar Sari Larut Air	39,88%	$> 5\%$	Memenuhi
Kadar Sari Larut Etanol	54,81%	$> 5\%$	Memenuhi
Kadar Abu Total	4,409%	$\leq 8\%$	Memenuhi
Kadar Abu Tidak Larut Asam	0,345%	$\leq 2\%$	Memenuhi

Berdasarkan hasil uji yang dilakukan seluruh parameter memenuhi standar Materia Medika Indonesia (MMI). Kadar air sebesar 7,99% berada di bawah batas maksimal 10%, menunjukkan bahan cukup kering dan stabil selama penyimpanan, sehingga risiko pertumbuhan mikroba dapat ditekan [17]. Kadar sari larut air (39,88%) dan etanol (54,81%) yang tinggi menunjukkan kandungan senyawa polar dan semi-polar dalam jumlah signifikan, terutama fenolik dan flavonoid. Penelitian oleh Muhammad (2022), melaporkan bahwa kulit pinang kaya polifenol dan tanin yang berperan sebagai bioreduktor dan penstabil dalam sintesis nanopartikel [18]. Nilai kadar abu total (4,409%) dan abu tidak larut asam (0,345%) yang rendah juga menandakan minimnya cemaran anorganik, sehingga bahan dinilai layak digunakan dalam proses sintesis nanopartikel [7].

Skrining Fitokimia Ekstrak Air Kulit Pinang (*Areca catechu L.*)

Hasil uji skrining fitokimia kulit pinang muda (*Areca catechu L.*) yang diekstraksi dengan metode infudasi menggunakan aquadest menunjukkan bahwa ekstrak mengandung senyawa fenolik, flavonoid, dan tanin yang ditunjukkan pada Tabel 2. Alkaloid hanya memberikan reaksi positif pada pereaksi Dragendorff, sementara uji Mayer dan Wagner negatif, sehingga keberadaannya tidak dominan. Reaksi ini sesuai dengan mekanisme pembentukan kompleks ion bismut–alkaloid yang dijelaskan Sembiring (2023), dan keberadaan arekolin pada kulit pinang muda [19] [20].

Tabel 2. Hasil Uji Skrining Fitokimia Ekstrak Kulit Pinang Muda (*Areca catechu L.*)

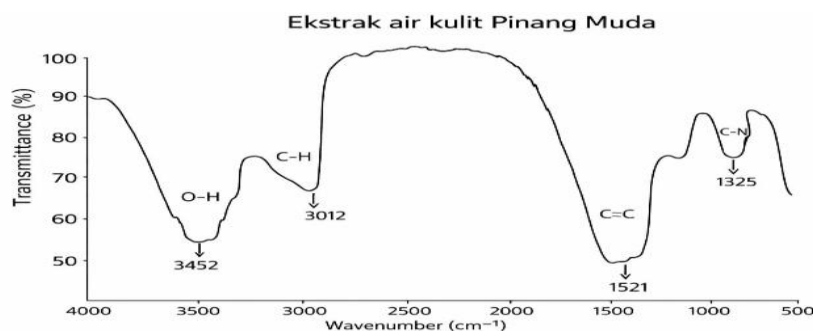
Golongan Senyawa	Hasil	Hasil	Hasil pengamatan
Alkaloid	Mayer	Negatif	Terbentuknya endapan merah hingga jingg
	Dragendroff	Positif	
	Wagner	Negatif	
Flavonoid	Mg+HCL pekat	Positif	Terbentuk larutan berwarna kuning
Saponin	Air+HCl 1 N	Negatif	Tidak terbentuk busa yang stabil
Fenolik	FeCl ₃	Positif	Terbentuk warna hijau kehitaman
Steroid	Liebermen Burchard	Negatif	Tidak terdapat warna hijau
Tanin	Gelatin 1%	Positif	Terbentuk endapan putih

Uji Shinoda menghasilkan warna kuning yang menandakan keberadaan flavonoid dalam suasana asam [21]. Reaksi FeCl₃ membentuk warna hijau kehitaman akibat kompleks fenolat-Fe³⁺, sedangkan uji gelatin menunjukkan endapan putih karena tanin mampu mengendapkan protein [22]. Saponin dan steroid tidak terdeteksi, sejalan dengan laporan bahwa ekstrak air *Areca catechu* lebih didominasi polifenol [20]. Komposisi senyawa polifenolik dari kulit pinang akan mendukung perannya dalam biosintesis nanopartikel ZnO dan aktivitas antijamur.

Analisis Gugus Fungsi Ekstrak Air Kulit Pinang Muda (*Areca catechu L.*) Menggunakan FTIR

Ekstrak air kulit pinang muda dianalisis menggunakan spektrofotometer FTIR untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terkandung di dalamnya. Spektrum FTIR pada Gambar 1 menunjukkan pita serapan yang kuat pada bilangan gelombang 3452 cm⁻¹, yang mengindikasikan adanya regangan O-H dari gugus hidroksil pada senyawa fenolik dan alkohol [10]. Bentuk pita yang melebar pada daerah ini menunjukkan keberadaan ikatan hidrogen, yang umumnya dijumpai pada ekstrak dengan kandungan polifenol yang tinggi [7].

Puncak serapan pada 3012 cm⁻¹ berkaitan dengan regangan C-H aromatik yang mengindikasikan adanya struktur cincin aromatik, seperti yang banyak ditemukan pada golongan flavonoid [23]. Selain itu, pita serapan pada 1521 cm⁻¹ menunjukkan regangan C=C aromatik yang umum terdapat pada senyawa fenolik, sedangkan pita pada 1325 cm⁻¹ dikaitkan dengan regangan C-N yang kemungkinan berasal dari senyawa alkaloid atau amina [1].

**Gambar 1.** Pita Serapan FTIR Ekstrak Air Kulit Pinang Muda (*Areca catechu L.*)

Hasil analisis FTIR ini sejalan dengan hasil skrining fitokimia yang menunjukkan adanya senyawa fenolik, flavonoid, tanin, dan alkaloid dalam ekstrak kulit pinang muda. Dominasi gugus hidroksil dan struktur aromatik mengindikasikan bahwa ekstrak kaya akan senyawa polifenolik yang diketahui memiliki berbagai aktivitas biologis, termasuk aktivitas antioksidan dan antimikroba. Beberapa penelitian juga melaporkan bahwa senyawa fenolik dan flavonoid dapat berperan sebagai agen pereduksi, sementara tanin berpotensi berfungsi sebagai agen penstabil dalam proses biosintesis nanopartikel berbasis tanaman. Dengan demikian, komposisi kimia yang teridentifikasi pada ekstrak kulit pinang muda menunjukkan potensi yang mendukung pemanfaatannya dalam pendekatan green synthesis.

Aktivitas Antijamur Nanopartikel ZnO Biosintesis Kulit Pinang Muda (*Areca catechu L.*) Terhadap *Candida albicans*

Aktivitas antijamur menunjukkan bahwa nanopartikel ZnO yang telah di sintesis dengan ekstrak air kulit pinang muda (*Areca catechu L.*) mampu menghambat pertumbuhan *Candida albicans* pada seluruh

konsentrasi yang dapat dilihat pada Tabel 3. Diameter zona hambat meningkat seiring kenaikan konsentrasi, memperlihatkan pola dosis respon yang jelas. Temuan ini sejalan dengan temuan Sophia (2024), yang menyebutkan bahwa aktivitas antijamur nanopartikel logam oksida meningkat pada konsentrasi lebih tinggi karena jumlah partikel aktif yang berinteraksi dengan sel mikroba semakin banyak [24].

Tabel 3. Diameter Zona Hambat Aktivitas Antijamur Nanopartikel ZnO Biosintesis Kulit Pinang Muda (*Areca catechu* L.)

Konsentrasi (mg/mL)	Diameter Zona Hambat (mm)			Rata-rata (mm, mean \pm SD)	Kriteria Kekuatan
	P1	P2	P3		
25	12,77	11,47	12,23	12,1 \pm 0,65	Kuat
50	12,15	12,56	13,14	12,6 \pm 0,50	Kuat
100	12,81	12,92	13,33	13,0 \pm 0,27	Kuat
125	14,23	14,10	14,34	14,2 \pm 0,12	Kuat
250	17,37	17,13	16,95	17,1 \pm 0,21	Kuat
500	20,58	21,26	19,03	20,2 \pm 1,14	Kuat
Ketokonazol (+)	31,86	–	–	31,86 \pm 0,00	Sangat Kuat
DMSO (-)	0	–	–	0 \pm 0,00	Tidak Aktif

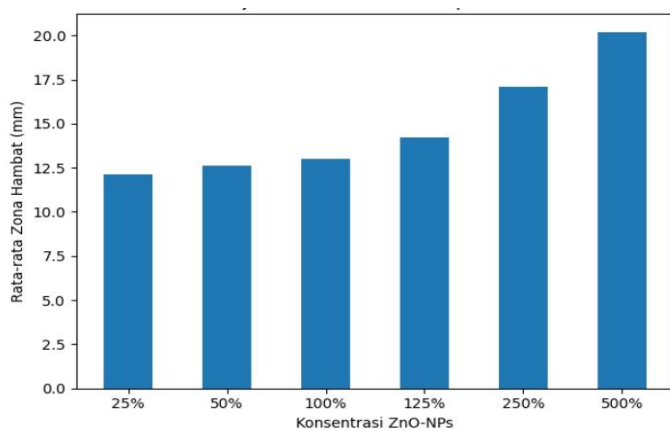
Keterangan:

SD = Standar Deviasi

(+) = Kontrol positif

(-) = Kontrol negatif

Nilai rata-rata zona hambat meningkat bertahap dari konsentrasi terendah hingga tertinggi, dengan daya hambat terbesar hingga 20,2 \pm 1,14 mm pada konsentrasi 500 mg/mL. Secara umum, seluruh konsentrasi menunjukkan daya hambat yang tergolong kuat. Pola ini konsisten menunjukkan bahwa aktivitas antifungal ZnO-NPs terhadap *Candida albicans* bertambah signifikan pada konsentrasi lebih tinggi [1]. Ketokonazol sebagai kontrol positif menghasilkan zona hambat 31,86 mm, sedangkan DMSO tidak menunjukkan aktivitas, sehingga efek hambat dapat dipastikan berasal dari nanopartikel. Laporan Bemis (2023), juga menyatakan bahwa pelarut tidak memberikan zona hambat, sementara ZnO-NPs efektif menghambat pertumbuhan dan pembentukan biofilm *Candida albicans* [7].



Gambar 2. Grafik Uji Aktivitas Antijamur Nanopartikel ZnO Biosintesis Kulit Pinang Muda

Analisis statistik menunjukkan data berdistribusi normal berdasarkan uji Shapiro–Wilk dengan nilai signifikansi antara 0,386–0,908 ($p > 0,05$). Uji homogenitas varians menggunakan Levene's Test juga menunjukkan hasil yang homogen dengan nilai signifikansi 0,052 ($p > 0,05$). Dengan demikian, data telah memenuhi persyaratan untuk dianalisis menggunakan One-Way ANOVA [25]. Hasil ANOVA menunjukkan adanya perbedaan yang bermakna antar konsentrasi ZnO-NPs terhadap diameter zona hambat *Candida albicans* ($F(5,12) = 86,579$; $p = 0,000$). Analisis lanjutan menggunakan uji Tukey HSD memperlihatkan bahwa konsentrasi 250 mg/mL dan 500 mg/mL berbeda signifikan dibandingkan konsentrasi yang lebih rendah ($p < 0,05$). Temuan ini menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi ZnO-NPs diikuti oleh peningkatan aktivitas penghambatan terhadap pertumbuhan *Candida albicans* [26].

Sedangkan secara biologis, aktivitas antijamur nanopartikel ZnO berkaitan dengan pembentukan reactive oxygen species (ROS), pelepasan ion Zn^{2+} , serta gangguan integritas membran sel jamur [7]. Partikel

berukuran nano memiliki luas permukaan tinggi sehingga lebih mudah berinteraksi dengan dinding dan membran sel *Candida albicans* [27]. Interaksi ini meningkatkan permeabilitas membran, memicu stres oksidatif, dan mengganggu fungsi enzim serta materi genetik sel. Kerusakan kumulatif tersebut akhirnya menyebabkan kematian sel jamur [1].

Keberadaan senyawa fenolik, flavonoid, dan tanin pada ekstrak kulit pinang muda yang berperan sebagai agen penstabil capping agent kemungkinan turut memengaruhi karakter permukaan nanopartikel dan meningkatkan aktivitas biologisnya [27]. Senyawa polifenolik diketahui memiliki aktivitas antimikroba, sehingga dapat memberikan efek tambahan selain peran strukturalnya dalam sintesis nanopartikel [1].

Meskipun daya hambat nanopartikel ZnO belum melampaui ketokonazol, hasil ini menunjukkan potensi yang signifikan, terutama pada konsentrasi tinggi [24]. Dengan meningkatnya resistensi *Candida albicans* terhadap antijamur konvensional, nanopartikel ZnO berbasis biosintesis kulit pinang muda berpeluang dikembangkan sebagai agen antijamur alternatif atau sebagai pendekatan pendukung dalam terapi masalah yang disebabkan jamur.

Kesimpulan

Penelitian ini menyimpulkan bahwa ekstrak air kulit pinang muda (*Areca catechu L.*) memenuhi standar mutu dan layak digunakan sebagai bahan penelitian karena didominasi senyawa fenolik, flavonoid, dan tanin. Analisis FTIR menunjukkan keberadaan gugus O–H, C=C aromatik, dan C–N yang mendukung perannya sebagai agen pereduksi dan penstabil dalam biosintesis nanopartikel ZnO, sehingga bahan ini sesuai untuk pendekatan green synthesis. Nanopartikel ZnO yang dihasilkan mampu menghambat pertumbuhan jamur *Candida albicans* pada seluruh konsentrasi (25–500 mg/mL). Diameter zona hambat meningkat dari $12,1 \pm 0,65$ mm menjadi $20,2 \pm 1,14$ mm, dan menunjukkan perbedaannya yang signifikan dengan $p < 0,05$. Meski belum melampaui ketokonazol, tapi semua konsentrasi menunjukkan daya hambat yang kuat dan konsisten. Temuan ini menegaskan bahwa nanopartikel ZnO berbasis kulit pinang muda berpotensi dikembangkan sebagai agen antijamur alternatif yang lebih ramah lingkungan, khususnya dalam menghadapi resistensi *Candida albicans*. Penelitian ini memiliki keterbatasan karena belum dilakukan karakterisasi lanjutan menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)*, *Scanning Electron Microscopy (SEM)*, serta *Dynamic Light Scattering (DLS)* atau *Transmission Electron Microscopy (TEM)*. Oleh karena itu, struktur kristal, morfologi permukaan, dan ukuran partikel hasil sintesis belum dapat dikonfirmasi secara menyeluruh. Penelitian selanjutnya perlu melakukan karakterisasi tersebut untuk memastikan karakteristik nanopartikel yang terbentuk serta mengkaji hubungan antara sifat fisik nanopartikel dengan aktivitas antijamurnya.

Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan tidak memiliki konflik kepentingan yang dapat memengaruhi pelaksanaan, analisis, maupun penulisan artikel jurnal ini.

Referensi

- [1] M. T. Yassin, F. O. Al-otibi, K. Maniah, and S. Mohamed, "Synergistic Antifungal Efficiency of Eco-Friendly Synthesized Zinc Oxide Nanoparticles in Combination with Fluconazole against Drug-Resistant Candidal Strains," vol. 34, no. 2, pp. 1851–1865, 2025, doi: 10.15244/pjoes/188144.
- [2] S. Nasiri, H. Mahmoudvand, M. Shakibaei, S. A. H. Mousavi, and A. Sepahvand, "Antifungal effects of zinc nanoparticles green synthesized by *Lavandula angustifolia* extract, alone and combined with nystatin against *Candida albicans*, a major cause of oral candidiasis," *J. Herbmед Pharmacol.*, vol. 11, no. 4, pp. 540–545, Sep. 2022, doi: 10.34172/jhp.2022.62.
- [3] E. Agustina, F. Andiarna, I. Hidayati, and V. F. Kartika, "Uji aktivitas antijamur ekstrak black garlic terhadap pertumbuhan jamur *Candida albicans*," *Bioma J. Ilm. Biol.*, vol. 10, no. 2, pp. 143–157, Oct. 2021, doi: 10.26877/bioma.v10i2.6371.
- [4] S. A. Paramita, "Nanosains Fenomena Dari Sifat Fisika Dan Kimia Nanoteknologi :," vol. 27, no. 2, 2024.
- [5] F. Islam *et al.*, "Exploring the Journey of Zinc Oxide Nanoparticles (ZnO-NPs) toward Biomedical Applications," *Materials (Basel)*, vol. 15, no. 6, p. 2160, Mar. 2022, doi: 10.3390/ma15062160.
- [6] M. P. Setiawan, J. Kimia, N. Hindryawati, and A. Aziz, "Mini Review: Sintesis Dan Karakterisasi Nanopartikel ZnO Dan Aplikasinya Sebagai Fotokatalis Synthesis And Characterization Of ZnO Nanoparticles For Photocatalyst: Mini

- Review," *Pros. Semin. Nas. Kim.*, vol. 2, no. 2, pp. 84–90, 2024.
- [7] R. Bemis, F. Deswardani, and R. Dyah, "Sintesis Hijau Nanopartikel Perak Menggunakan Bioreduktor Kulit Pinang (*Areca Catechu L.*) Sebagai Antibakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*," vol. 06, no. 02, pp. 176–186, 2023, doi: 10.20885/ijca.vol6.iss2.art9.
- [8] Shofwatunnisa, *Biosintesis Dan Karakterisasi Nanopartikel ZnO Dengan Ekstrak Rumput Laut Caulerpa sp.* 2019. [Online]. Available: https://repository.uinjkt.ac.id/dspace/handle/123456789/58384%0Ahttps://repository.uinjkt.ac.id/dspace/bitstream/123456789/58384/1/Shofwatunnisa_FST.pdf
- [9] Z. Rani, R. Ridwanto, H. M. Nasution, V. E. Kaban, N. Nasri, and N. B. Karo, "Antibacterial activity of freshwater lobster (*Cherax quadricarinatus*) shell chitosan gel preparation against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*," *J. Appl. Pharm. Sci.*, 2022, doi: 10.7324/JAPS.2023.130216.
- [10] N. Saridewi, D. A. Firdaus, I. Aziz, B. N. Kumila, and D. Dasumiati, "Biosynthesis of ZnO Nanoparticles Using Pumpkin Peel Extract (*Cucurbita moschata*) and its Applications as Semiconductor in Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)," *J. Kim. Val.*, vol. 7, no. 2, pp. 100–107, Nov. 2021, doi: 10.15408/jkv.v7i2.21046.
- [11] C. R. Mendes *et al.*, "Antibacterial action and target mechanisms of zinc oxide nanoparticles against bacterial pathogens," *Sci. Rep.*, vol. 12, no. 1, pp. 1–10, 2022, doi: 10.1038/s41598-022-06657-y.
- [12] M. T. Yassin, S. Mohamed, F. O. Al-otibi, and K. Maniah, "Synergistic antifungal activity of lepidium sativum ZnO nanoparticles and nystatin against resistant candida species," pp. 1–18, 2025.
- [13] M. C. Strains, M. T. Yassin, A. A. Mostafa, and A. A. Al-askar, "Facile Green Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles with Potential Synergistic Activity with Common Antifungal Agents," pp. 1–20, 2022.
- [14] A. Pehino, F. Fatimawali, and E. J. Suoth, "Uji Aktivitas Antibakteri Ekstrak Biji Buah Duku *Lansium domesticum* Terhadap Bakteri *Staphylococcus Aureus* Dan *Escherichia Coli*," *Pharmacon*, vol. 10, no. 2, p. 818, 2021, doi: 10.35799/pha.10.2021.34030.
- [15] H. Sari *et al.*, "Uji Efektivitas Antidiabetes Kombinasi Ekstrak Daun Meniran (*Phyllanthus niruri L.*) Dan Kelopak Bunga Rosella (*Hibiscus sabdariffa L.*) Pada Tikus Jantan Putih," vol. 2, no. 1, 2019.
- [16] Depkes RI, "formularies," in *Pocket Handbook of Nonhuman Primate Clinical Medicine*, CRC Press, 2017, pp. 213–218. doi: 10.1201/b12934-13.
- [17] A. I. Irma, T. Indrawati, and W. Basuki, "Formulasi Krim Ekstrak Kulit Buah Lemon (*Citrus Limon L.*) dan Daun Jambu Biji (*Psidii Guajava L.*) sebagai Antioksidan," *Maj. Farmasetika*, vol. 9, no. 4, pp. 301–314, Aug. 2024, doi: 10.24198/mfarmasetika.v9i4.54725.
- [18] I. Muhammad *et al.*, "Melatonin Application Alleviates Stress-Induced Photosynthetic Inhibition and Oxidative Damage by Regulating Antioxidant Defense System of Maize: A Meta-Analysis," *Antioxidants*, vol. 11, no. 3, p. 512, Mar. 2022, doi: 10.3390/antiox11030512.
- [19] N. B. Sembiring, A. Alkhairi Lubis, R. Malem Br Karo, and A. Hidayat, "Skrinning fitokimia komponen bioaktif Parem Karo," *Bul. Kedokt. dan Kesehat. Prima*, vol. 2, no. 2, pp. 32–38, 2023, doi: 10.34012/bkkp.v2i2.4798.
- [20] P. Jaiswal, P. Kumar, V. K. Singh, and D. K. Singh, "Areca catechu L.: A Valuable Herbal Medicine Against Different Health Problems," *Res. J. Med. Plant*, vol. 5, no. 2, pp. 145–152, Feb. 2019, doi: 10.3923/rjmp.2011.145.152.
- [21] M. Fauzan, S. Sumaiyah, and S. Nasution, "Archive of SID . ir Cytotoxic activity of the purified extracts from duku (*Lansium domesticum* Corr .) Leaf against MCF-7 and HTB-183 cell lines , and the correlation with antioxidant activity Archive of SID . ir Archive of SID . ir Archive of SID . ir," vol. 5, no. October, pp. 1159–1172, 2023.
- [22] Astriani Natalia Br Ginting, Vera Estefania Kaban, Roy Indrianto Bangar, and Daimah W. S. Harahap, "Formulasi dan Uji Aktivitas Antibakteri Gel Minyak Atsiri Rimpang Lengkuas Merah (*Alpinia purpurata K. Schum*) terhadap *Propionibacterium acnes*," *Insologi J. Sains dan Teknol.*, vol. 4, no. 1, pp. 75–88, Feb. 2025, doi: 10.55123/insologi.v4i1.4844.
- [23] A. B. D. Nandiyanto, R. Oktiani, and R. Ragadhita, "How to read and interpret ftir spectroscopy of organic material," *Indones. J. Sci. Technol.*, vol. 4, no. 1, pp. 97–118, 2019, doi: 10.17509/ijost.v4i1.15806.
- [24] A. Sophia, "The Effectiveness Of Maniran Leaf Juice *Phyllanthus niruri L.* As An Antifungal Againsts The Growth Of *Candida albicans*," *Bioma J. Biol. Makassar*, vol. 9, no. 2, p. 129, 2024.
- [25] M. F. Lubis, V. E. Kaban, J. O. Aritonang, D. Satria, A. A. Mulina, and H. Febriani, "Acute Toxicity and Antifungal Activity Of The Ointment *Murraya koenigii* Ethanol Extract," *Rasayan J. Chem.*, vol. 15, no. 01, pp. 256–261, 2022, doi: 10.31788/RJC.2022.1516401.
- [26] M. F. Lubis, P. A. Z. Hasibuan, V. E. Kaban, and R. Astyka, "Phytochemicals Analysis and Cytotoxic Activity of *Lansium domesticum* Corr Extract-Cisplatin Combination Against Panc-1 Cell Line," *Rasayan J. Chem.*, vol. 16, no. 01, pp. 32–37, 2023, doi: 10.31788/RJC.2023.1617074.
- [27] B. Naiel, M. Fawzy, M. W. A. Halmy, and A. E. D. Mahmoud, "Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using Sea Lavender (*Limonium pruinosum L. Chaz.*) extract: characterization, evaluation of anti-skin cancer, antimicrobial and antioxidant potentials," *Sci. Rep.*, vol. 12, no. 1, pp. 1–12, 2022, doi: 10.1038/s41598-022-24805-2.