

Pemanfaatan Fraksi N-Butanol Rimpang Temu Kunci (*Boesenbergia Pandurata* Roxb) Sebagai Bioreduktor Dalam Green Synthesis Nanopartikel Perak

M.Alfian Alhabsyi¹, Anita Puspa Widiyana^{2*}, Yoni Rina Bintari³

¹Program Studi Farmasi, Fakultas Kedokteran, Universitas Islam Malang

Email : 22101102031@unisma.ac.id

^{2*}Departemen Farmasi, Program Studi Farmasi, Fakultas Kedokteran Universitas
Islam Malang

Koresponden : Email : anitapuspaw@unisma.ac.id

³ Departemen Kimia dan Biokimia, Program Studi Kedokteran, Universitas Islam
Malang

Email : yonirinabintari@unisma.ac.id

ABSTRAK

Pendahuluan : Nanoteknologi memiliki aplikasi luas pada berbagai bidang ilmu dan teknologi, terutama pada material berukuran 1–100 nanometer. Salah satu material yang menarik perhatian adalah nanopartikel perak (AgNP), Ukuran nanometer pada AgNP menghasilkan rasio luas permukaan terhadap volume yang besar sehingga menyediakan lebih banyak titik kontak dengan bakteri yang akan mempercepat dan memperkuat efek antimikroba. Hal ini menjadikan AgNP sangat potensial sebagai agen antibakteri.

Metode : Penelitian ini menggunakan metode sintesis hijau untuk memproduksi AgNP dengan memanfaatkan agen pereduksi natural berupa fraksi n-butanol rimpang temu kunci (*Boesenbergia pandurata* Roxb.) dan perak nitrat (AgNO_3) sebagai prekursor logam. Sintesis dilakukan dengan mencampurkan larutan AgNO_3 1,5 mM dan fraksi n-butanol dalam rasio 1:1, kemudian diaduk pada kecepatan 1000 rpm selama 60 menit menggunakan hotplate stirrer. Penyesuaian pH hingga mencapai pH 11 dilakukan dengan penambahan NaOH 0,1 N.

Hasil : Berdasarkan analisis spektrofotometer UV-Vis, terdeteksi puncak absorbansi tepatnya pada panjang gelombang 419,9 nanometer, yang mengonfirmasi terbentuknya nanopartikel perak (AgNP), ditandai dengan perubahan warna dari larutan dari kuning bening menjadi kuning kecoklatan, sedangkan analisis PSA menunjukkan ukuran partikel rata-rata $94,27 \pm 8,91$ nm, indeks polidispersitas (PDI) $0,24 \pm 0,21$ serta zeta potensial $-20,47 \pm 11,57$ mV.

Kesimpulan : Sintesis nanopartikel perak (AgNP) dengan fraksi n-butanol rimpang temu kunci pada kecepatan pengadukan 1000 rpm dan pH 11 berhasil menghasilkan partikel berukuran nano dengan ukuran partikel rata-rata sebesar $94,27 \pm 8,91$ nm dengan PDI $0,24 \pm 0,21$; zeta potensial $-20,47 \pm 11,57$ mV.

Kata Kunci: nanopartikel perak; sintesis hijau; temu kunci; fraksi n-butanol.

Utilization of N-Butanol Fractions of *Rhizomes boesenbergia pandurata* Roxb as Bioreductants in the Green Synthesis of Silver Nanoparticles

M. Alfian Alhabsyi¹, Anita Puspa Widiyana^{2*}, Yoni Rina Bintari³

¹Pharmacy Study Program, Faculty of Medicine, Islamic University of Malang

Email : 22101102031@unisma.ac.id

^{2*}Department of Pharmacy, Pharmacy Study Program, Faculty of Medicine, Islamic University of Malang

Corresponding author : Email : anitapuspaw@unisma.ac.id

³Department of Chemistry and Biochemistry, Medical Study Program, Faculty of Medicine , Islamic University of Malang

Email : yonirinabintari@unisma.ac.id

ABSTRACT

Introduction : Nanotechnology has several uses in various disciplines of science and technology, notably with materials ranging in size from 1 to 100 nanometers. One of the most promising materials is silver nanoparticles. AgNPs' nanoscale size gives a high surface area-to-volume ratio, allowing for additional contact points with bacterial cells and thereby speeding up and strengthening antimicrobial actions. This makes AgNPs highly potential as antibacterial agents.

Method : This study employed a green synthesis method to produce AgNPs using the n-butanol fraction of *Boesenbergia pandurata* Roxb. (fingerroot) rhizome as a natural reducing agent, while silver nitrate (AgNO_3) serving as the metal precursor. The synthesis was conducted by mixing 1.5 mM AgNO_3 solution with the n-butanol fraction in a 1:1 ratio, followed by stirring at 1000 rpm for 60 minutes using a hotplate stirrer. The pH was raised to 11 by including 0.1 N NaOH.

Results : The formation of nanoparticles was confirmed through several analyses, beginning with particle size analysis (PSA), which showed an average size of 94.27 ± 8.91 nm, a polydispersity index (PDI) of 0.24 ± 0.21 , and a zeta potential of -20.47 ± 11.57 mV. Supporting this result, the UV-Vis spectrophotometric analysis revealed a maximum absorbance peak at 419.9 nm, accompanied by a visible color change in the solution from clear yellow to yellowish brown

Conclusion : At a stirring speed of 1000 rpm and pH 11, the n-butanol fraction of *Boesenbergia pandurata* rhizome was successfully utilized for the synthesis of silver nanoparticles (AgNPs), yielding nanosized particles characterized by an average diameter of 94.27 ± 8.91 nm, a polydispersity index (PDI) of 0.24 ± 0.21 , and a zeta potential of -20.47 ± 11.57 mV.

Keywords: silver nanoparticle; green synthesis; fingerroot; n-butanol fraction

PENDAHULUAN

Nanoteknologi memiliki aplikasi luas pada berbagai bidang ilmu dan teknologi, terutama pada material berukuran 1–100 nanometer. Salah satu material yang menarik perhatian adalah nanopartikel perak (AgNP) karena memiliki kestabilan tinggi, ketahanan oksidatif yang lebih baik dibanding logam seperti tembaga dan aluminium, serta energi ionisasi dan konfigurasi elektron yang stabil (Esquivel & Gupta, 2020).

Ukuran nanometer pada AgNP menghasilkan rasio yang memiliki perbandingan luas permukaan terhadap volume cukup tinggi menyebabkan proses kontak antara material dan koloni bakteri berlangsung lebih efisien (Gouyau et al., 2021). Mekanisme antibakterinya mencakup kerusakan dinding sel melalui kontak langsung dengan membran yang mengganggu integritas sel, serta ikatan dengan gugus fosfat dan basa nitrogen DNA yang menghambat sintesis protein dan replikasi, sehingga menyebabkan kematian bakteri (Pasquina-Lemonche et al., 2020). Potensi ini menjadikan AgNP kandidat alternatif untuk mengatasi resistensi antibiotik (Ali et al., 2023).

Metode sintesis berpengaruh terhadap kualitas AgNP. Pendekatan yang sering diterapkan dalam pembuatan material nanostruktur adalah sintesis hijau (*green synthesis*), di mana komponen bioaktif dari tumbuhan dimanfaatkan sebagai zat yang berperan dalam proses reduksi sekaligus penstabilan, sehingga menghasilkan sistem yang aman bagi lingkungan, mudah beradaptasi secara biologis, serta tidak menghasilkan limbah kimia beracun (Wasilewska et al., 2023; Nadaf et al., 2022). *Boesenbergia pandurata* Roxb atau rimpang kunci menjadi bagian dari sumber nabati yang bisa dimanfaatkan dalam sintesis ini.

Penggunaan rimpang temu kunci di Indonesia masih terbatas dalam pengobatan tradisional, sementara aplikasinya dalam nanoteknologi belum banyak diteliti, sehingga berpotensi menjadi sumber biomaterial untuk sintesis AgNP (Fakhrudin et al., 2021). Rimpang ini mengandung metabolit sekunder seperti flavonoid, fenolik, terpenoid, keton, aldehida, dan asam karboksilat yang berperan dalam reduksi ion logam (Jirakiattikul et al., 2021).

Proses fraksinasi dengan pelarut *n*-butanol dilakukan untuk menarik flavonoid secara selektif, sehingga menghasilkan fraksi dengan potensi reduksi tinggi (Ajiboye et al., 2020). Flavonoid memiliki gugus hidroksil (-OH) yang mampu mendonorkan elektron untuk mereduksi ion Ag^+ menjadi Ag^0 , sekaligus menstabilkan nanopartikel agar tidak beragregasi (Thongrong et al., 2023). Keberhasilan sintesis AgNP dapat dipantau melalui perubahan warna larutan menjadi kecoklatan, pada uji spektrofotometri UV–Vis muncul absorbansi maksimal pada gelombang sepanjang 400–450 nanometer serta melalui pengujian distribusi ukuran partikel memanfaatkan *Particle Size Analyzer* (PSA), yang berfungsi guna memastikan dimensi partikel berada

dalam kisaran 1 hingga 100 nanometer (nm) (Agustina et al., 2021).

METODE PELAKSANAAN

Desain, Waktu, dan Tempat Penelitian

Uji aktivitas antibakteri melalui model difusi cakram menjadi awalan dilaksanakan nya riset ini, kemudian dilanjutkan dengan karakterisasi nanopartikel perak (AgNP) melalui Particle Size Analyzer (PSA) beserta spektrofotometer UV-Vis guna mencari tahu sifat optik dan ukuran partikel, serta diakhiri dengan proses sintesis AgNP dalam kerangka eksperimen laboratorik *in vitro* yang menerapkan pendekatan *post-test only control group design*. Riset dilakukan sejak bulan Januari – Agustus 2025 bertempat di Laboratorium Kimia-Farmasi Fakultas Kedokteran Universitas Islam Malang. Penelitian ini secara etik telah disahkan oleh Komisi Etik Penelitian Kesehatan Rumah Sakit Islam Malang (KEPK RSI) pada nomor surat No.54/KEPK/RSI-U/VIII/2025.

Bahan Penelitian

Penelitian ini menggunakan serbuk rimpang temu kunci (Boesenbergia pandurata Roxb.) sebagai sumber senyawa bioaktif, disertai bahan kimia pendukung seperti etanol p.a, NaOH 0,1 N, akuades, serta perak nitrat (AgNO_3) sebagai penyedia ion perak.

Alat Penelitian

Pada riset ini dimanfaatkan alat berupa *waterbath*, *rotary evaporator*, oven, spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu UV-1280), *Particle Size Analyzer* (PSA) serta seperangkat alat gelas

Pembuatan Ekstrak Etanol Rimpang Temu Kunci

Sebanyak 100 gram serbuk rimpang temu kunci diekstraksi dengan 1000 mL etanol p.a melalui teknik *Ultrasound-Assisted Extraction* (UAE) dengan durasi 30 menit. Filtrat disaring menggunakan kertas Whatman no. 42 lalu dipanaskan dengan evaporator rotasi pada suhu 50 °C., dilanjutkan pengeringan dalam oven bersuhu 37°C hingga diperoleh ekstrak kental.

Fraksinasi dengan pelarut *n*-butanol

Sebanyak 1 gram ekstrak dilarutkan dalam 10 mL akuades dan difraksinasi menggunakan *n*-butanol melalui corong pisah. Campuran dikocok selama ± 15 menit hingga terbentuk dua fase. Fraksi *n*-butanol diambil dan proses diulang hingga jernih.

Sintesis Nanopartikel perak

Sejumlah 10 mL larutan dari AgNO_3 1,5 mM dicampurkan dengan 2 mL fraksi *n*-butanol dari rimpang temu kunci, diaduk dalam durasi 60 menit dengan stirrer magnetik dengan kecepatan 1000 rpm. Perubahan warna larutan diamati, yang awalnya kuning muda transparan berubah menjadi kuning kecoklatan.

Analisis Karakterisasi Sintesis Nanopartikel Perak

Uji spektrofotometri UV-Vis

Sampel beserta pelarut etanol p.a akan dimanfaatkan sebagai larutan blanko yang akan diukur spektrumnya adalah larutan AgNO_3 1,5 mM. Pengujian dilakukan dengan pemindaian sampel pada rentang panjang gelombang dalam rentang panjang gelombang antara 600 - 300 nm.

Uji Particle Size Analyse (PSA)

Proses analisis menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) diawali dengan pemasukan larutan nanopartikel perak (AgNP) ke dalam kuvet, kemudian instrumen PSA digunakan untuk mengukur distribusi ukuran partikel yang menjadi kandungan pada larutan terkait.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Rendemen Ekstrak Etanol Rimpang Temu Kunci

$$\% \text{ Rendemen} = \frac{\text{bobot ekstrak}}{\text{bobot awal simplisia}} \times 100\%$$

Tabel 1. Hasil Rendemen

Bahan	Bobot serbuk (g)	Bobol ekstrak kental (g)	Rendemen (%)
Rimpang temu kunci	100	11,16	11,16

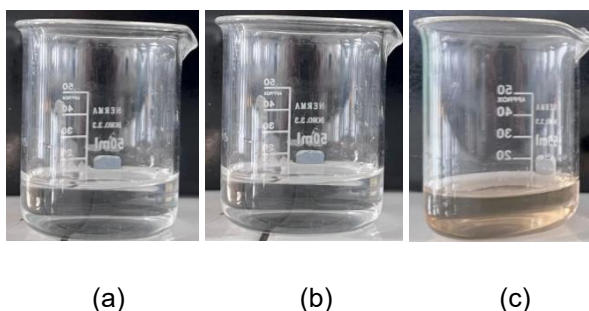
Proses ekstraksi menggunakan metode UAE menghasilkan rendemen sebesar 11,16%. Rendemen dihitung untuk mengetahui rasio antara berat ekstrak atau simplisia yang diperoleh dengan berat bahan baku awal (Putri et al., 2024). Secara umum, bahan baku dinyatakan memenuhi standar apabila memiliki rendemen lebih dari 10%, sehingga ekstrak rimpang temu kunci dalam penelitian ini telah memenuhi kriteria tersebut. Terdapat keterkaitan antara nilai rendemen dan kandungan senyawa aktif pada suatu bahan, Semakin tinggi rendemen yang diperoleh, menunjukkan bahwa kandungan senyawa

aktif di dalam sampel juga semakin besar (Warnis et al., 2021).

Melalui teknik ekstraksi cair-cair bertingkat, fraksinasi dilaksanakan dengan corong pisah untuk memisahkan senyawa berdasarkan tingkat kepolarannya, dimulai dari pelarut nonpolar hingga polar. Tahap akhir berupa pemisahan fraksi air dan fraksi *n*-butanol, menghasilkan fraksi *n*-butanol yang bersifat semipolar dengan kecenderungan lebih polar, sehingga efektif mengekstraksi senyawa metabolit sekunder polar seperti flavonoid. Tingkat kepolaran ditentukan oleh konstanta dielektrik, di mana pelarut polar memiliki nilai lebih tinggi. *n*-butanol memiliki konstanta dielektrik 18, sedangkan air 80 (Sawal & Sutrisna, 2019).

Hasil Sintesis Nanopartikel Perak

Larutan yang semula berwarna kuning muda transparan bertransformasi menjadi kuning kecokelatan pasca pengadukan selama 60 menit menjadi indikator terjadinya pembentukan nanopartikel perak (AgNP), seperti yang ditampilkan gambar berikut.



Gambar 1. (a) larutan AgNO_3 (b) fraksi *n*-butanol (c) AgNP

Gambar 1 (c) menunjukkan sintesis AgNP menggunakan fraksi *n*-butanol rimpang temu kunci setelah satu jam pengadukan, larutan berubah dari kuning muda transparan menjadi cokelat kekuningan, menandakan ion perak (Ag^+) telah direduksi menjadi atom perak (Ag^0) oleh senyawa bioaktif dalam fraksi. Atom-atom perak ini kemudian membentuk inti kecil (nukleasi) yang akan tumbuh dan bergabung menjadi nanopartikel (Wattimena et al., 2021). Fraksi *n*-butanol rimpang temu kunci mengandung biomolekul seperti fenolik, tanin, asam fenolat, dan flavonoid yang berperan sebagai agen pereduksi, terutama flavonoid (Mat Yusuf et al., 2020; Pratama et al., 2021). Reduksi terjadi melalui donasi elektron dari gugus hidroksil pada struktur enol, khususnya bagian katekol yang memiliki energi disosiasi rendah (Fozia et al., 2022). Setelah oksidasi menjadi bentuk keton, flavonoid menempel di permukaan nanopartikel sebagai agen penstabil untuk mencegah agregasi (Zuhrotun et al., 2023).

Sintesis AgNP dilakukan melalui pengadukan kontinu selama 60 menit pada kecepatan 1000 rpm untuk meningkatkan laju reaksi, jumlah partikel yang

terbentuk, homogenitas sistem, serta mencegah agregasi antarpartikel (Masykuroh & Nurulita, 2021). Pengadukan pada kecepatan 1000 rpm terbukti menghasilkan partikel berdiameter kecil karena meningkatkan mobilitas dan frekuensi tumbukan antarpartikel (Alnairat et al., 2021). Kondisi ini mendukung pembentukan nanopartikel berukuran lebih kecil dan terdistribusi merata (Ahmadi et al., 2023). Sebaliknya, pengadukan dengan kecepatan rendah dapat menghambat reduksi ion perak oleh agen pereduksi, meninggalkan senyawa yang tidak terkonversi, dan mengganggu jalannya reaksi. Akibatnya, konsentrasi AgNP yang dihasilkan menjadi rendah, serta berpotensi menghasilkan partikel perak berukuran lebih besar dan reaktif, yang dapat menurunkan kestabilan koloid (Junaidi et al., 2016).

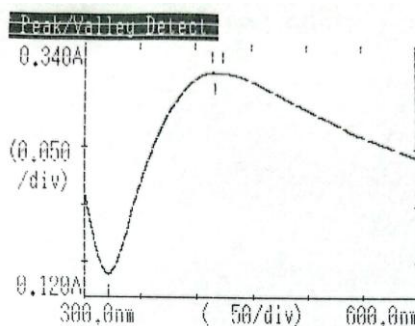
Selain faktor kecepatan pengadukan, pH reaksi memengaruhi keberhasilan sintesis. Kondisi basa meningkatkan deprotonasi gugus fungsi biomolekul pada fraksi ekstrak, sehingga memperkuat interaksi dengan ion perak. Penambahan NaOH dilaporkan mempercepat reduksi ion Ag^+ menjadi Ag^0 karena peningkatan reaktivitas biomolekul pereduksi (Azarbani & Shiravand, 2020). Hasil studi lain menunjukkan bahwa pH sekitar 12 merupakan kondisi optimal untuk menghasilkan AgNP berukuran kecil dan stabil. Sebaliknya, kondisi asam cenderung memicu agregasi sebelum nukleasi sempurna terjadi, sehingga partikel yang dihasilkan berukuran lebih besar dan memiliki kestabilan rendah (Qurrataayun et al., 2022).

Hasil Analisis Karakterisasi dengan Spektrofotometer UV-Vis

Tabel 2 memperlihatkan hasil analisis menunjukkan absorbansi pada panjang gelombang.

Tabel 2.
Hasil Panjang Gelombang Maksimal

Absorbansi	Panjang gelombang (nm)
0,317	419,9



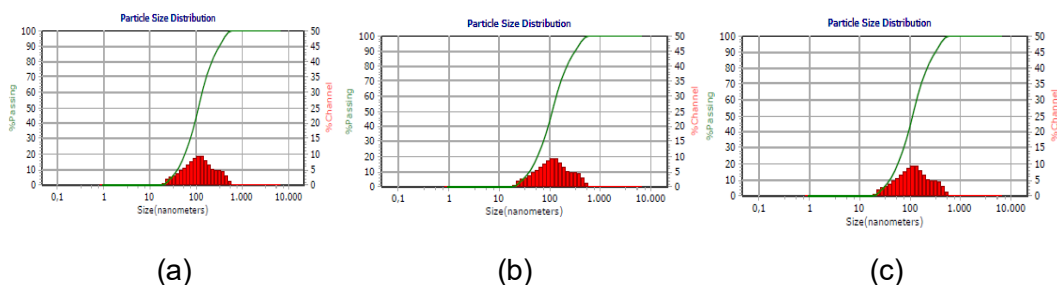
Gambar 2. Hasil spektra AgNP

Pembentukan nanopartikel perak dapat dikonfirmasi melalui uji spektrofotometri UV-Vis dengan mengamati adanya puncak serapan maksimum pada gelombang sepanjang 400–450 nanometer. Pada Gambar 2 terlihat bahwa puncak serapan maksimal muncul pada panjang gelombang 419,9 nm, sebagaimana ditunjukkan oleh hasil spektrum UV-Vis. Nilai panjang gelombang ini berkorelasi erat dengan warna cokelat kekuningan nanopartikel perak yang terlihat pada Gambar 1 (c). Warna tersebut timbul akibat terjadinya getaran elektron di permukaan partikel saat terkena cahaya. Getaran ini disebut sebagai resonansi plasmon permukaan terlokalisasi (LSPR), yang terjadi ketika frekuensi cahaya yang datang sesuai dengan frekuensi osilasi elektron dalam partikel (Malik et al., 2022). Frekuensi osilasi tersebut bergantung pada ukuran, bentuk, dan sifat optik (dielektrik) dari partikel (Zuhrotun et al., 2023).

Hasil Analisis Karakterisasi dengan *Particle Size Analyzer* (PSA)

Tabel 3.
Hasil Karkterisasi *Particle Size Analyzer*

No	Pengujian	Replikasi			Hasil (Rerata $\pm$ SD)
		R1	R2	R3	
1.	Ukuran partikel	84,80 nm	102,5 nm	95,50 nm	94,27 $\pm$ 8,91 nm
2.	Indeks polidispersitas	0,48	0,14	0,11	0,24 $\pm$ 0,21
3.	Zeta potensial	7,10 mV	27,90 mV	26,40 mV	-20,47 $\pm$ 11,57 mV



Gambar 3. (a) replikasi 1 AgNP fraksi *n*-butanol (b) replikasi 2 AgNP fraksi *n*-butanol (c) replikasi 3 AgNP fraksi *n*-butanol

Berdasarkan uji PSA yang diperlihatkan dalam Tabel 3, diperoleh ukuran partikel rata-rata sebesar $94,27 \pm 8,91$ nm, yang berada dalam kisaran 1–100 nm sehingga memenuhi kriteria ukuran nanopartikel perak (AgNP). Nilai indeks polidispersitas (PDI) yang diperoleh sebesar $0,24 \pm 0,21$ menunjukkan bahwa distribusi ukuran partikel cukup seragam dan stabil, dengan nilai optimal biasanya berkisar antara 0,1–0,25. PDI digunakan untuk memverifikasi homogenitas ukuran partikel, di mana nilai mendekati nol menandakan distribusi yang lebih

homogen, sedangkan nilai di atas 0,5 menunjukkan distribusi tidak seragam dan potensi agregasi (De Melo et al., 2020).

Zeta potensial yang diukur sebesar $-20,47 \pm 11,57$ mV menjadi indikator stabilitas sistem koloid, karena masih jauh dari batas dari nilai zeta potensial yang baik yaitu ± 30 mV, AgNP yang dihasilkan dianggap kurang mampu mencegah terjadinya agregasi (Pratiwi et al., 2025). Stabilitas ini penting untuk mempertahankan ukuran partikel selama penyimpanan serta menjaga sifat fisik dan kimianya. Secara keseluruhan, hasil karakterisasi menunjukkan bahwa AgNP yang dihasilkan memiliki ukuran kecil, distribusi partikel yang cukup seragam, tetapi kestabilan dispersi yang masih kurang memadai (Puspitasari & Saryanti, 2024).

KESIMPULAN

Sintesis nanopartikel perak (AgNP) dengan fraksi *n*-butanol rimpang temu kunci pada kecepatan pengadukan 1000 rpm dan pH 11 berhasil menghasilkan partikel berukuran rata-rata $94,27 \pm 8,91$ nm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Apresiasi peneliti berikan pada Fakultas Kedokteran Universitas Islam Malang beserta IOM atas dukungan berupa dana insentif yang telah diberikan untuk menunjang pelaksanaan penelitian ini. Apresiasi disampaikan kepada seluruh pihak yang sudah membantu serta mendukung selama pelaksanaan riset hingga penyusunan artikel, sehingga karya ilmiah ini dapat terselesaikan dan dipublikasikan dengan baik.

DAFTAR RUJUKAN

- Agustina, T. E., Handayani, W., & Imawan, C. (2021). The UV-VIS Spectrum Analysis From Silver Nanoparticles Synthesized Using *Diospyros maritima* Blume. Leaves Extract . *Proceedings of the 3rd KOBICONG, International and National Conferences (KOBICINC 2020)*, 14(Kobicinc 2020), 411–419.
- Ahmadi, O., Sayyar, Z., & Jafarizadeh Malmiri, H. (2023). Optimization of Processing Time, Temperature, and Stirring Rate to Synthesize the Ag Nanoparticles Using Oregano Extract. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 42(10), 3235–3248.
- Ajiboye, B. O., Ojo, O. A., Fatoba, B., Afolabi, O. B., Olayide, I., Okesola, M. A., & Oyinloye, B. E. (2020). In vitro antioxidant and enzyme inhibitory properties of the *n*-butanol fraction of *Senna podocarpa* (Guill. And Perr.) leaf. *Journal of Basic and Clinical Physiology and Pharmacology*, 31(1), 1–13.
- Ali, H. M., Karam, K., Khan, T., Wahab, S., Ullah, S., & Sadiq, M. (2023). Reactive oxygen species induced oxidative damage to DNA, lipids, and proteins of antibiotic-resistant bacteria by plant-based silver nanoparticles. *3 Biotech*, 13(12), 1–12.

- Alnairat, N., Abu Dalo, M., Abu-Zurayk, R., Abu Mallouh, S., Odeh, F., & Al Bawab, A. (2021). Green synthesis of silver nanoparticles as an effective antibiofouling material for polyvinylidene fluoride (Pvdf) ultrafiltration membrane. *Polymers*, 13(21).
- Azarbani, F., & Shiravand, S. (2020). Green synthesis of silver nanoparticles by *Ferulago macrocarpa* flowers extract and their antibacterial, antifungal and toxic effects. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 13(1), 41–49.
- De Melo, A. P. Z., De Oliveira Brisola Maclel, M. V., Sganzerla, W. G., Da Rosa Almeida, A., De Armas, R. D., MacHado, M. H., Da Rosa, C. G., Nunes, M. R., Bertoldi, F. C., & Barreto, P. L. M. (2020). Antibacterial activity, morphology, and physicochemical stability of biosynthesized silver nanoparticles using thyme (*Thymus vulgaris*) essential oil. *Materials Research Express*, 7(1).
- Esquivel, J., & Gupta, R. K. (2020). Review—Corrosion-Resistant Metastable Al Alloys: An Overview of Corrosion Mechanisms. *Journal of The Electrochemical Society*, 167(8).
- Fakhrudin, N., Pramiastuti, O., & Subagus, W. (2021). A simple, fast, and inexpensive non-chromatographic method for the isolation of pinostrobin from *boesenbergia rotunda* rhizome. *Rasayan Journal of Chemistry*, 14(2), 735–740.
- Fozia, F., Ahmad, N., Buoharee, Z. A., Ahmad, I., Aslam, M., Wahab, A., Ullah, R., Ahmad, S., Alotaibi, A., & Tariq, A. (2022). Characterization and Evaluation of Antimicrobial Potential of *Trigonella incise* (Linn) Mediated Biosynthesized Silver Nanoparticles. *Molecules*, 27(14).
- Gouyau, J., Duval, R. E., Boudier, A., & Lamouroux, E. (2021). Investigation of nanoparticle metallic core antibacterial activity: Gold and silver nanoparticles against *escherichia coli* and *staphylococcus aureus*. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(4), 1–15.
- Jirakiattikul, Y., Rithichai, P., Prachai, R., & Itharat, A. (2021). Elicitation enhancement of bioactive compound accumulation and antioxidant activity in shoot cultures of *Boesenbergia rotunda* L. *Agriculture and Natural Resources*, 55(3), 456–463.
- Junaidi, Yunus, M., Harsojo, Suharyadi, E., & Triyana, K. (2016). Effect of stirring rate on the synthesis silver nanowires using polyvinyl alcohol as a capping agent by polyol process. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 6(3), 365–369.
- Malik, M., Iqbal, M. A., Malik, M., Raza, M. A., Shahid, W., Choi, J. R., & Pham, P. V. (2022). Biosynthesis and Characterizations of Silver Nanoparticles from *Annona Squamosa* Leaf and Fruit Extracts for Size-Dependent Biomedical Applications. *Nanomaterials*, 12(4).
- Masykuroh, A., & Nurulita, N. N. (2021). POTENSI EKSTRAK KULIT JERUK KUNCI (*Citrus microcarpa* Bunge) SEBAGAI BIOREDUKTOR DALAM SINTESIS NANOPARTIKEL PERAK. *Bioma : Jurnal Biologi Makassar*, 7(1), 12–20.

- Nadaf, S. J., Jadhav, N. R., Naikwadi, H. S., Savekar, P. L., Sapkal, I. D., Kambli, M. M., & Desai, I. A. (2022). Green synthesis of gold and silver nanoparticles: Updates on research, patents, and future prospects. *OpenNano*, 8(July), 100076. <https://doi.org/10.1016/j.onano.2022.100076>.
- Pasquina-Lemonche, L., Burns, J., Turner, R. D., Kumar, S., & Tank, R. (2020). Europe PMC Funders Group The Architecture of the Gram Positive Bacterial Cell Wall. *Nature*, 582(7811), 294–297.
- Pratama, G. A., Widiyana, A. P., & Mirza, D. M. (2021). In silico dan hubungan kuantitatif struktur-properti (HKSP) senyawa turunan pinocembrin sebagai anti kanker payudara melalui hambatan epidermal growth factor receptor (EGFR). *Junal Farmasi*, 11(1), 1–9.
- Pratiwi, D., Indrani, D. J., Sunarso, S., & Puspitawati, R. (2025). Characteristics of Patchouli Plant (*Pogostemon cablin* Benth.) as An Antimicrobial in The Development of Dental Materials. *Interdental Jurnal Kedokteran Gigi (IJKG)*, 21(1), 134–142. <https://doi.org/10.46862/interdental.v21i1.10572>.
- Puspitasari, D., & Saryanti, D. (2024). Preparation and Characterization of Nano Collagen from Bone and Skin of Asian Swamp Eel (*Monopterus albus*) Potentially as Cosmetic Raw Material. *Indonesian Journal of Pharmaceutical Science and Technology*, 11(2), 140–147.
- Putri, D. E. J., Widiyana, A. P., & Wulandari, D. N. (2024). OPTIMASI LAMA PERENDAMAN TERHADAP NILAI RENDEMEN DAN KADAR TOTAL TANIN EKSTRAK SERAI DAPUR (*Cymbopogon citratus*) OPTIMIZATION OF SOAKING TIME ON RENDEMENT VALUE AND TOTAL TANIN CONTENT EXTRACT LEMONGRASS (*Cymbopogon citratus*). *Jurnal Bio Komplementer*, 10(2), 1–7.
- Qurrataayun, S., Rifai, Y., Rante, H., Kunci, K., Biosintesis, :, & Citratus, C. (2022). Sintesis Hijau Nanopartikel Perak (Agnp) Menggunakan Ekstrak Daun Serai (*Cymbopogon Citratus*) Sebagai Bioreduktor. *Original Article MFF*, 26(3), 124–128.
- Sawal, R. A. H., & Sutrisna, W. (2019). Penetapan Kadar Senyawa Flavonoid Total Dalam Fraksi-Fraksi Sirih Merah (*Piper Crocatum* Ruiz & Pav). *Jurnal Farmasi & Sains Indonesia*, 2(2), 42–45.
- Thongrong, S., Surapinit, S., Promsrisuk, T., Jittiwat, J., & Kongsui, R. (2023). Pinostrobin alleviates chronic restraint stress-induced cognitive impairment by modulating oxidative stress and the function of astrocytes in the hippocampus of rats. *Biomedical Reports*, 18(3), 1–10.
- Warnis, M., Rulianti, M. R., & Salsabila, J. (2021). Pemeriksaan Rendemen, Kadar Sari Larut Air, Dan Kadar Sari Larut Etanol Dari Ekstrak Batang Brotowali. *JKPharm Jurnal Kesehatan Farmasi*, 3(2), 118–123.
- Wasilewska, A., Klekotka, U., Zambrzycka, M., Zambrowski, G., Świąćicka, I., & Kalska-Szostko, B. (2023). Physico-chemical properties and antimicrobial activity of silver nanoparticles fabricated by green synthesis.

Food Chemistry, 400, 1–7.

- Wattimena, S. C., Silooy, D. R., & Patty, P. J. (2021). Characterization of green silver nanoparticles of *Graptophyllum pictum* leaf extract: From the localized surface plasmon resonance to the antimicrobial activity. *Journal of Physics: Conference Series*, 1943(1), 1–7.
- Zuhrotun, A., Oktaviani, D. J., & Hasanah, A. N. (2023). Biosynthesis of Gold and Silver Nanoparticles Using Phytochemical Compounds. *Molecules*, 28(7), 1–31.