

Article Review: Characterization and Anti-Cancer Activity Test of Gold Nanoparticles (AuNPs) and Silver Nanoparticles (AgNPs) with Tumeric (*Curcuma* spp.) Extract as Bioreductor

Review Artikel: Karakterisasi Dan Uji Efektivitas Antikanker Nanopartikel Emas (AuNPs) Dan Nanopartikel Perak (AgNPs) Dengan Ekstrak Kunyit (*Curcuma* spp.) Sebagai Bioreduktor

Izmi Haura Syahida ^a, Munir Alinu Mulki ^{a*}

^aProgram Studi Farmasi, Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas Singaperbangsa Karawang, Jawa Barat, Indonesia.

*Corresponding Authors: Munir.alinu@fikes.unsika.ac.id

Abstract

Cancer is one of the leading causes of death in the world with major challenges in the form of therapeutic side effects, poor selectivity, and drug resistance. Nanotechnology, particularly the use of gold (AuNPs) and silver (AgNPs) nanoparticles, offers a promising alternative to improve the effectiveness of cancer therapy. This article reviews recent developments in the synthesis of AuNPs and AgNPs using turmeric as a natural, environmentally friendly bioreductor. Characterization of nanoparticles through UV-Vis, TEM, SEM, and FT-IR methods showed particle sizes ranging from 1-100 nm, spherical or hexagonal morphology, and the presence of functional groups such as -OH and C=O that support stability and bioactivity. Anticancer studies show that these nanoparticles are effective against various types of cancer cells, including breast (MCF-7, MDA-MB-231), lung (A549, NCI-H661, NCI-H1975, NCI-H1573, NCI-H1563), cervical (HeLa), and epithelial (Hep-2) cancers.

Keywords: Gold Nanoparticles, Silver Nanoparticles, Green Synthesis, Turmeric, Anticancer.

Abstrak

Kanker merupakan salah satu penyebab kematian terbanyak di dunia dengan tantangan utama berupa efek samping terapi, selektivitas yang buruk, dan resistensi obat. Nanoteknologi, khususnya penggunaan nanopartikel emas (AuNPs) dan perak (AgNPs), menawarkan alternatif yang menjanjikan untuk meningkatkan efektivitas terapi kanker. Artikel ini mereview perkembangan terkini dalam sintesis AuNPs dan AgNPs menggunakan kunyit sebagai bioreduktor alami yang ramah lingkungan. Karakterisasi nanopartikel melalui metode UV-Vis, TEM, SEM, dan FT-IR menunjukkan ukuran partikel yang berkisar antara 1-100 nm, morfologi bulat atau heksagonal, serta keberadaan gugus fungsi seperti -OH dan C=O yang mendukung kestabilan dan bioaktivitas. Studi antikanker menunjukkan bahwa nanopartikel ini efektif terhadap berbagai jenis sel kanker, termasuk kanker payudara (MCF-7, MDA-MB-231), paru-paru (A549, NCI-H661, NCI-H1975, NCI-H1573, NCI-H1563), serviks (HeLa), dan epitel (Hep-2).

Kata Kunci: Nanopartikel Emas, Nanopartikel Perak, Sintesis Hijau, Kunyit, Antikanker.



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/)

Article History:

Received: 09/10/2024,
Revised: 21/11/2024
Accepted: 21/11/2024,
Available Online: 04/12/2025.

QR access this Article



<https://doi.org/10.36490/journal-jps.com.678>

Pendahuluan

Kanker merupakan salah satu penyebab kematian terbanyak di dunia, hal ini dibuktikan dengan data dari *Global Cancer Statistics* (GLOBOCAN) yang menunjukkan bahwa pada tahun 2020 terdapat jumlah kasus baru kanker sebanyak 19,3 juta dan kasus kematian akibat kanker sebanyak 10 juta. GLOBOCAN juga memperkirakan pada tahun 2040 akan terjadi peningkatan secara global sebanyak 47% kasus kanker baru, menjadi 28,4 juta kasus kanker baru [1]. Terapi kanker saat ini memiliki kelemahan yang signifikan, termasuk efek samping yang tidak diinginkan, selektivitas yang buruk, dan resistensi obat [2].

Dalam beberapa tahun terakhir, nanoteknologi telah menjadi topik penelitian yang luas dan sangat diminati oleh para peneliti. Nanoteknologi adalah ilmu dan teknologi yang berkaitan dengan manipulasi dan pengolahan material pada skala nanometer, yaitu 10-100 nm [3,4]. Di antara jenis nanopartikel lain, nanopartikel emas (AuNPs) dan perak (AgNPs) menjadi nanopartikel logam terapeutik dan diagnostik kanker yang menjanjikan. Nanopartikel emas (AuNPs) dipilih karena sifatnya yang inert, biokompatibilitas yang baik, serta toksisitas yang rendah [5]. Begitu juga dengan nanopartikel perak (AgNPs) yang dipilih karena memiliki sistem fisiologis detoksifikasi yang sangat baik dalam tubuh manusia sehingga toksisitasnya rendah [6].

Karena aplikasi nanopartikel emas (AuNPs) semakin meningkat dari hari ke hari, maka sintesisnya juga meningkat secara bersamaan. Namun, berbagai metode fisika dan kimia yang digunakan untuk sintesis nanopartikel mahal dan berbahaya bagi kesehatan manusia karena penggunaan komponen beracun dan adanya produk sampingan, selain itu juga dapat menimbulkan masalah lingkungan [7]. Untuk mengatasi tantangan dalam proses sintesis, pendekatan alternatif berupa sintesis hijau telah dikembangkan [8]. Salah satu sumber bioreduktor alami yang semakin banyak dieksplorasi dalam sintesis nanopartikel adalah tanaman obat, seperti kunyit. Kunyit, yang telah lama digunakan dalam pengobatan tradisional, kaya akan senyawa fitokimia seperti kurkumin, yang memiliki sifat antioksidan, anti-inflamasi, antikanker, dan antibakteri. Potensi kunyit dalam bidang nanoteknologi semakin diperkuat oleh kemampuannya dalam mereduksi ion emas (Au^{3+}) menjadi (Au^0) [9].

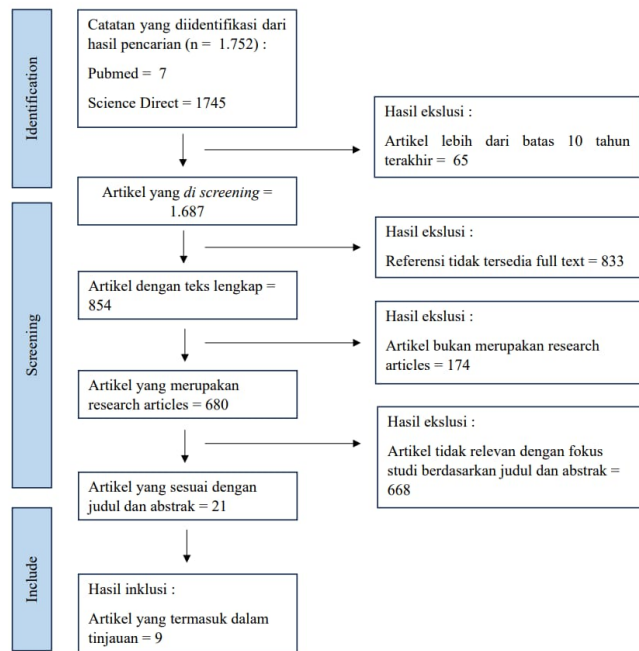
Selain itu, karakterisasi nanopartikel menjadi aspek penting untuk memahami sifat fisika dan kimia yang mempengaruhi efektivitas dalam aplikasi biomedis. Teknik-teknik seperti spektrofotometri UV-Vis, TEM, SEM, XRD, EDX sering digunakan untuk mengkarakterisasi ukuran, morfologi, serta distribusi partikel. Melalui karakterisasi yang tepat, informasi mengenai stabilitas, ukuran, dan aktivitas biologis nanopartikel dapat diperoleh, hal tersebut sangat penting untuk memastikan keamanan dan efikasi dalam aplikasi klinis [10].

Oleh karena itu, review ini bertujuan untuk mengonsolidasikan temuan terkini mengenai sintesis, karakterisasi, dan aktivitas antikanker AuNPs dan AgNPs yang menggunakan kunyit sebagai bioreduktor. Artikel ini juga berupaya menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi efikasi nanopartikel tersebut, serta mengidentifikasi celah pengetahuan yang masih ada untuk menjadi arah penelitian di masa depan.

Metode Penelitian

Artikel ini disusun sebagai systematic review. Pencarian artikel yang relevan dilakukan secara *online* menggunakan database PubMed (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>), dan ScienceDirect (<https://www.sciencedirect.com/>). Kombinasi kata kunci yang digunakan meliputi “gold nanoparticles” OR “silver nanoparticles” AND “turmeric” AND “anticancer” AND “characterization”, dengan batasan artikel yang

diterbitkan dalam 10 tahun terakhir (2014–2024) agar literatur yang dianalisis merepresentasikan perkembangan penelitian terkini. Kriteria inklusi yang digunakan dalam *review* ini mencakup artikel yang membahas karakterisasi nanopartikel emas dan perak menggunakan kunyit sebagai bioreduktor dan potensinya dalam terapi kanker, artikel termasuk *research articles*, artikel yang menyediakan teks lengkap dan artikel yang dipublikasikan dalam 10 tahun terakhir. Kriteria inklusi yang digunakan dalam *review* ini mencakup artikel yang menggunakan kombinasi bioreduktor lain selain kunyit, artikel yang bukan termasuk *research articles* (*book chapter*, *conference proceedings*, atau *preprint*), artikel dengan teks yang tidak lengkap, dan artikel yang dipublikasikan lebih dari 10 tahun terakhir. Batasan waktu ini ditetapkan untuk memastikan bahwa *review* mencakup literatur terkini yang mewakili perkembangan pengetahuan terbaru dalam bidang nanopartikel. Hasil pencarian didapatkan sebanyak 9 publikasi yang dipilih dalam penelitian ini. Skema strategi pencarian artikel dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema strategi pencarian artikel

Hasil dan Diskusi

Karakterisasi Nanopartikel Emas (AuNPs) dan Perak (AgNPs)

Tabel 1. Karakterisasi Nanopartikel Emas (AuNPs) dan Perak (AgNPs)

Jenis Nanopartikel	SPR	Ukuran dan Bentuk	Gugus Fungsi	Referensi
AuNPs	550 nm	10-26 nm, bulat dan heksagonal	C=O, C-H, O-H	[11]
AuNPs	520 nm, 522 nm, dan 527 nm	11-35 nm, bulat	COOH, O-H	[12]
AuNPs	530 nm	10-30 nm, bulat	OH, C-H, C=O, NO ₃ , C-N, C-O-C, C-O	[13]
AuNPs	540 nm	3–20 nm, bulat	-	[14]
AuNPs	550 nm	10-30 nm, setengah bola	C=O, O-H, C-O	[15]
AgNPs	448 nm	6.13-8.46 nm, bulat	OH, C-H, N-H, C-N	[16]
AgNPs	417.5 nm	25 nm-75 nm, heksagonal	O-H, C-H, C=O, N-H, N-O, C-O-C, C-N	[17]
AgNPs	430 nm	51,13 nm, bulat	C=O, O-H, C=C, C-C, C-H, C-O	[18]
AgNPs	410 nm dan 425 nm	1,10 nm- 58,6 nm, bulat	-	[19]

Surface Plasmon Resonance (SPR)

Analisis *surface plasmon resonance* (SPR) menjadi salah satu metode awal untuk menentukan keberhasilan terbentuknya nanopartikel suatu logam sebelum dilakukan analisis lainnya yang lebih detail seperti analisis ukuran dan morfologi partikel [20]. Analisis SPR dilakukan menggunakan spektroskopi UV-Vis. *Surface Plasmon Resonance* merupakan fenomena pergerakan awan elektron dipengaruhi oleh adanya penyinaran pada koloid nanokomposit atau disebut dengan fenomena resonansi osilasi [21].

Pada nanopartikel emas (AuNPs), Das et al. [11] dan Yang et al. [15] melaporkan panjang gelombang SPR pada 550 nm. Sementara itu, Vemuri et al. [14] dan Hendi et al. [13] melaporkan panjang gelombang SPR yang lebih rendah, yaitu masing-masing pada 540 nm dan 530 nm. Hasil yang menarik dilaporkan oleh Dutta et al. [12], yang mendapatkan tiga panjang gelombang SPR pada 520 nm, 522 nm, dan 527 nm. SPR yang dilaporkan dari kelima penelitian tersebut sesuai dengan literatur yang menyebutkan SPR nanopartikel emas umumnya berada pada 500–560 nm, dimana puncak pada rentang ini membuktikan terjadinya pembentukan nanopartikel emas [22]. Untuk nanopartikel perak (AgNPs), Arumai et al. [16] melaporkan puncak SPR pada 448 nm. Karan et al. [17] dan Ganesan et al. [18] masing-masing mengamati puncak pada 430 nm dan 417.5 nm. Sementara Sheikh et al. [19] menemukan dua panjang gelombang SPR yaitu pada 410 nm dan 425 nm. Peningkatan nilai serapan pita SPR dalam kisaran 400–450 nm ini menunjukkan adanya pembentukan nanopartikel perak [23]. Puncak serapan yang diamati dari nanopartikel perak ini lebih pendek dibandingkan dengan nanopartikel emas, menandakan perbedaan sifat plasmon permukaan antara kedua jenis nanopartikel [24].

Ukuran dan Bentuk

Ukuran nanopartikel secara umum merupakan masalah penting karena nanopartikel menunjukkan sifat fisik dan kimia yang berbeda, tergantung pada bentuk dan ukurannya. TEM dan SEM merupakan teknik yang digunakan untuk mempelajari ukuran dan bentuk nanopartikel serta distribusinya [25].

Yang et al. [15] dan Hendi et al. [13] melaporkan ukuran AuNPs berkisar antara 10–30 nm dengan bentuk bulat dan setengah bola. Das et al. [11] menemukan ukuran partikel antara 10–26 nm dengan bentuk bulat dan heksagonal, sedangkan Dutta et al. [12] melaporkan ukuran 11–35 nm dengan bentuk bulat. Vemuri et al. [14] berhasil mensintesis AuNPs dengan ukuran paling kecil, yaitu antara 3–20 nm berbentuk bulat.

Untuk nanopartikel perak, Karan et al. [17] melaporkan ukuran AgNPs 51,13 nm berbentuk bulat. Ganesan et al. [18] menemukan ukuran partikel antara 25–75 nm dengan morfologi heksagonal, sementara Sheikh et al. [19] melaporkan ukuran yang sangat bervariasi dari 1,10 nm hingga 58,6 nm dengan bentuk bulat. Arumai et al. [16] mensintesis AgNPs dengan ukuran terkecil yaitu 6,13–8,46 nm berbentuk bulat.

Data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa nanopartikel emas dan perak hasil sintesis menggunakan bioreduktor kunyit ini termasuk ke dalam nanopartikel dan dapat dikategorikan ke dalam nanomedicine karena memiliki ukuran di bawah 200 nm. Dalam aplikasi nanomedicine, semakin kecil ukuran partikel, semakin mudah masuk ke dalam sel dan semakin meningkat absorpsinya di dalam tubuh [27].

Gugus Fungsi

Spektrum FT-IR digunakan untuk mendeteksi gugus fungsi utama dalam ekstrak tumbuhan dan kemungkinan perannya dalam proses reduksi selama sintesis AgNPs ataupun AuNPs. Efek kestabilan nanopartikel perak dan emas juga dimungkinkan karena adanya peran biomolekul dalam ekstrak tumbuhan [25].

Pada analisis AuNPs, Das et al. [11] menunjukkan pita karakteristik pada $3479,6\text{ cm}^{-1}$ yang merepresentasikan regangan -OH dari senyawa fenolik atau alkohol yang terikat hidrogen. Dutta et al. [12], Hendi et al. [13], dan Yang et al. [15] berturut-turut juga menunjukkan hasil yang sama berupa pergeseran puncak pada 3200 cm^{-1} , $3432,8\text{ cm}^{-1}$, dan 3381 cm^{-1} yang berasal dari fenolik dan alkohol.

Untuk analisis AgNPs, Arumai et al. [16] menunjukkan adanya pita lebar pada rentang $3307\text{--}3325\text{ cm}^{-1}$ yang merepresentasikan regangan -OH dari senyawa flavonoid dan fenolik dalam ekstrak. Setelah sintesis AgNPs, pita ini bergeser ke frekuensi lebih rendah ($3280\text{--}3288\text{ cm}^{-1}$), menunjukkan keterlibatan gugus hidroksil dalam reduksi ion perak (Ag^+) menjadi Ag^0 dan sebagai agen penstabil nanopartikel. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Ganesan et al. [18] dan Karan et al. [17] yang menyatakan bahwa absorbansi tertinggi berturut-turut ada pada $3443,66\text{ cm}^{-1}$ dan 3387 cm^{-1} berhubungan dengan bentangan O-H dari asam karboksilat, fenol dan alkohol yang bertanggung jawab untuk reduksi dan stabilisasi nanopartikel perak yang disintesis. Dengan demikian, hasil FTIR secara jelas menunjukkan bahwa

gugus fungsi -OH berperan sebagai pereduksi dan penstabil dalam sintesis nanopartikel emas dan perak menggunakan kunyit sebagai bioreduktor.

Mekanisme Molekuler Aktivitas Antikanker AuNPs dan AgNPs dari Kunyit

Tabel 2. Aktivitas Antikanker Nanopartikel Emas (AuNPs) dan Perak (AgNPs)

Jenis Nanopartikel	Jenis Sel	Metode yang Digunakan	Referensi
AuNPs	MCF-7 dan MDA-MB 231	MTT Assay	[11]
AuNPs	A549	MTT Assay, Fluorescence Microscopy, DNA Fragmentation Analysis	[12]
AuNPs	Senyawa DMBA kanker payudara	Histopatologi, Imunohistokimia (IHC), Analisis Biokimia	[13]
AuNPs	MCF-7 dan MDA-MB 231	MTT Assay	[14]
AuNPs	NCI-H661, NCI-H1975, NCI-H1573, dan NCI-H1563	MTT Assay	[15]
AgNPs	MCF-7, HeLa, Hep-2, A549 (NHDF)	MTT Assay, Hoechst 33258 staining assay	[16]
AgNPs	A549, DLD-1 and L929	MTT Assay, Double Staining Assay	[17]
AgNPs	MCF 7	MTT Assay	[18]
AgNPs	MDA MB 231	MTT Assay	[19]

Berdasarkan konsolidasi hasil dari sembilan penelitian yang diulas (Tabel 2), terlihat bahwa meskipun AuNPs dan AgNPs yang disintesis menggunakan kunyit diuji pada berbagai jenis sel kanker, mekanisme molekuler yang mendasari aktivitas sitotoksiknya menunjukkan pola yang konsisten dan saling terkait. Aktivitas antikanker tersebut terutama dimediasi melalui induksi apoptosis yang dipicu oleh peningkatan *Reactive Oxygen Species* (ROS), disertai dengan hambatan proliferasi sel, dan penghambatan angiogenesis.

Induksi Apoptosis melalui Stres Oksidatif dan Jalur Mitokondria

Mekanisme utama yang dilaporkan secara hampir universal adalah induksi kematian sel terprogram (apoptosis), yang sering dipicu oleh akumulasi *Reactive Oxygen Species* (ROS) intraseluler. Das et al. [11] melaporkan bahwa pada sel kanker payudara (MCF-7 dan MDA-MB-231), AuNPs dari kunyit hitam memicu produksi ROS yang menyebabkan kerusakan membran sel dan DNA, *leading to apoptosis*. Temuan serupa tentang peran kunci ROS dilaporkan oleh Yang et al. [15] pada sel kanker paru-paru (berbagai jenis sel NCI) dan Arumai et al. [16] pada berbagai jenis sel kanker (MCF-7, HeLa, Hep-2, A549). Akumulasi ROS ini menyebabkan stres oksidatif yang merusak membran mitokondria, menyebabkan pelepasan sitokrom c dan aktivasi kaskade kaspase apoptosis intrinsik. Vemuri et al. [14] secara eksplisit menjelaskan peningkatan ekspresi kaspase-9 pada sel kanker payudara yang diobati dengan AuNPs. Aktivasi kaspase ini berujung pada fragmentasi DNA, yang dikonfirmasi oleh Dutta et al. [12] melalui analisis khusus pada sel kanker paru A549 dan oleh Sheikh et al. [19] melalui pewarnaan fluoresens dengan propidium iodide (PI) pada sel MDA-MB-231. Bukti morfologis apoptosis, seperti kondensasi kromatin dan fragmentasi nuklir, diamati secara jelas oleh Dutta et al. [12] dan Sheikh et al. [19] menggunakan pewarnaan AO/EB, serta oleh Arumai et al. [16] dan Karan et al. [17] menggunakan pewarnaan Hoechst.

Hambatan Proliferasi Sel dan Arrest Siklus Sel

Mekanisme pendukung yang penting adalah kemampuan nanopartikel untuk menghentikan progresi siklus sel kanker. Vemuri et al. [14] melaporkan bahwa AuNPs menyebabkan penangkapan siklus sel (*cell cycle arrest*) pada fase G0/G1 pada sel kanker payudara, sehingga secara efektif menghambat proliferasi sel yang tidak terkendali. Temuan ini diperkuat oleh Hendi et al. [13], yang dalam studi *in vivo*-nya mengamati penurunan ekspresi penanda proliferasi sel Ki-67 pada jaringan kanker payudara tikus yang diinduksi DMBA setelah perlakuan dengan AuNPs. Selain itu, Vemuri et al. [14] juga menemukan penurunan ekspresi Cyclin D1, sebuah protein kunci yang mendorong transisi dari fase G1 ke fase S, yang memperkuat mekanisme hambatan proliferasi sel ini.

Penghambatan Angiogenesis

Selain bekerja langsung pada sel kanker, AuNPs juga menunjukkan efek tidak langsung dengan menghambat angiogenesis, yaitu proses pembentukan pembuluh darah baru yang mensuplai nutrisi dan oksigen bagi pertumbuhan tumor. Vemuri et al. [14] menjelaskan bahwa AuNPs yang disintesis dengan kunyit menekan ekspresi *Vascular Endothelial Growth Factor* (VEGF), yang merupakan sinyal kunci dalam merangsang angiogenesis. Dengan menghambat VEGF, AuNPs memotong suplai darah ke tumor, sehingga menghambat pertumbuhan dan metastasenya.

Selektivitas terhadap Sel Kanker

Aspek krusial dari nanomedicine adalah selektivitasnya. Secara konsisten, semua penelitian melaporkan bahwa AuNPs dan AgNPs yang disintesis dengan kunyit menunjukkan toksisitas yang dapat diabaikan atau minimal terhadap sel normal. Das et al. [11] dan Karan et al. [17] melaporkan toksisitas rendah terhadap sel fibroblas normal L929. Arumai et al. [16] menemukan efek sitotoksik minimal pada sel normal NHDF (*Normal Human Dermal Fibroblasts*), dan Yang et al. [15] melaporkan tidak adanya toksisitas signifikan pada sel endotel umbilikus manusia normal (HUVEC). Nilai IC₅₀ yang rendah terhadap sel kanker dibandingkan dengan tidak adanya atau tingginya nilai IC₅₀ pada sel normal ini mengonfirmasi selektivitas tinggi nanopartikel [11, 15, 16]. Yang et al. [15] dan Karan et al. [17] menjelaskan bahwa selektivitas ini diduga kuat disebabkan oleh fenomena yang dikenal sebagai differential stress sensitivity. Sel kanker, akibat metabolisme yang sangat aktif dan ketidakseimbangan redoks basalnya, sudah berada dalam kondisi stres oksidatif yang tinggi. Oleh karena itu, tambahan insult ROS yang diberikan oleh nanopartikel mendorong sel kanker melewati ambang batas kritis menuju apoptosis, sementara sel normal dengan sistem antioksidan yang masih utuh dapat menetralkan tambahan ROS tersebut dan tetap bertahan.

Kesimpulan

Tinjauan ini menunjukkan bahwa kunyit berperan konsisten sebagai bioreduktor efektif dalam sintesis nanopartikel emas (AuNPs) dan perak (AgNPs), menghasilkan partikel berukuran nano dengan karakteristik stabil dan bioaktif. Meskipun terdapat variasi dalam parameter sintesis, sebagian besar studi melaporkan aktivitas antikanker yang poten dengan mekanisme utama berupa induksi apoptosis melalui peningkatan produksi ROS. Temuan ini menegaskan potensi kunyit tidak hanya sebagai agen tradisional, tetapi juga sebagai sumber alami yang unggul untuk pengembangan nanomedicine kanker yang lebih selektif dan ramah lingkungan. Namun demikian, masih dibutuhkan penelitian lanjutan untuk menstandarkan metode sintesis, mengevaluasi keamanan jangka panjang, serta menguji efektivitas klinis sebelum aplikasi luas dapat direalisasikan.

Referensi

- [1] Sung H, Ferlay J, Siegel RL, et al. Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. *CA Cancer J Clin.* 2021;71(3):209-49.
- [2] Takac, Peter, et al. The role of silver nanoparticles in the diagnosis and treatment of cancer: Are there any perspectives for the future?. *Life*, 2023;13(2): 466.
- [3] Mita, Febria, et al. Perkembangan Penerapan Nanoteknologi di Bidang Pelapisan (Coating). *Jurnal Penelitian Fisika dan Terapannya (JUPITER)*, 2024;5(2): 1-29.
- [4] P. Velavan, C.Karuppusamy dan P. Venkatesen. Nanoparticles as Drug Delivery Systems. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2015;7(12):1118-1122.
- [5] Bharadwaj K, Rabha B, Pati S, Sarkar T, Choudhury BK, Barman, A, et al. Green synthesis of gold nanoparticles using plant extracts as beneficial prospect for cancer theranostics. *Molecules*, 2021;26(21):6389.
- [6] Foroozandeh, P, Aziz, A.A. Insight into Cellular Uptake and Intracellular Trafficking of Nanoparticles. *Nanoscale Res. Lett.* 2018;13:339.
- [7] Khan I, Saeed K, Khan I. Nanoparticles: Properties, applications and toxicities. *Arabian journal of chemistry*, 2019;12.7: 908-931.
- [8] Hosseingholian, A., et al. Recent advances in green synthesized nanoparticles: From production to application. *Materials Today Sustainability*, 2023;24: 100500.

- [9] Patra D, El Kurdi R. Curcumin as a novel reducing and stabilizing agent for the green synthesis of metallic nanoparticles. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 2021;14(3): 474-487.
- [10] Lelo I, Rando G, Giacobello F, Sfameni S, Castellano A, Galletta M, et al. Synthesis, chemical–physical characterization, and biomedical applications of functional gold nanoparticles: A review. *Molecules*, 2021;26(19):5823.
- [11] Das AK, Borah M, Kalita JJ, Bora U. Cytotoxic potential of *Curcuma caesia* rhizome extract and derived gold nanoparticles in targeting breast cancer cell lines. *Sci Rep*. 2024;14(1):17223.
- [12] Dutta S, Mitra SK, Bir A, Prabha TR, Ghosh A. Enhancing anti-cancer activity: green synthesis and cytotoxicity evaluation of turmeric-gold nanocapsules on A549 lung cancer cells. *Cureus*. 2020;12(8):e9917
- [13] Hendi AA, El-Nagar DM, Awad MA, Ortashi KM, Alnamlah RA, Merghani NM. Green nanogold activity in experimental breast carcinoma in vivo. *Biosci Rep*. 2020;40(11):BSR20200115.
- [14] Vemuri SK, Banala RR, Mukherjee S, Uppula P, Subbaiah GPV, AVGR C, et al. Novel biosynthesized gold nanoparticles as anti-cancer agents against breast cancer: an in vitro and in vivo study. *J Exp Nanosci*. 2016;11(3):268–281.
- [15] Yang Z, Shahriari M, Liang Y, Karmakar B, El-kott AF, AlShehri MA, Eltantawy W. Biosynthesis of gold nanoparticles mediated by *Curcuma longa* extract: evaluation of its catalytic activity for the degradation of environmental pollutants and study of anti-lung adenocarcinoma effects. *J Sci Adv Mater Devices*. 2024;9(2):100709.
- [16] Arumai S, Muthukumaran C, Chitra S, Arumugam A. Biosynthesis, characterization, and evaluation of the anticancer activity of gold nanoparticles using *Curcuma longa* against MCF-7 breast cancer cell line. *J Med Life*. 2018;11(3):249-56.
- [17] Karan S, Mahato K, Srivastava A, Chandra P. Green synthesis of gold nanoparticles using *Curcuma longa* extract and their application in cancer therapy. *J Drug Deliv Sci Technol*. 2022;69:103108.
- [18] Ganesan S, Mehalingam P, Sadasivam Selvam G. Green synthesis of silver nanoparticles from de-oiled rhizomes of *Curcuma longa* L. and its biomedical potential. In: Rajan M, editor. *ICON 2019*. Singapore: Springer; 2019. p. 94-106. doi:10.1007/978-3-030-25135-2_10.
- [19] Sheikh E, Bhatt MLB, Tripathi M. Bio-based synthesised and characterized monodispersed *Curcuma longa* silver nanoparticles induce targeted anticancer activity in breast cancer cells. *Phcog Mag*. 2018;14(Suppl 2):S340-5. doi:10.4103/pm.pm_71_18
- [20] Masykuroh A, Puspasari H. The potency of *Alocasia macrorrhizos* for silver nanoparticles (agnps) biosynthesis: surface plasmon resonance (spr) analysis as a time function. *Jurnal Biologi Makassar (Bioma)*, 2020;5(2):233-240.
- [21] Rahmayani Y, Zulhadjri Z, Arief S. Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Perak-Tricalcium Phosphate (TCP) dengan Bantuan Ekstrak Daun Alpukat (*Persea americana*). *Jurnal Kimia Valensi*, 2019;5(1):72-78 .
- [22] Hasyim, Muhammad Fathir. A Synthesis and Characterization of Gold Nanoparticles Using The Bioreductor Bay Leaf (*Syzygium polyanthum*). *Jurnal Akta Kimia Indonesia (Indonesia Chimica Acta)*, 2020:79-84.
- [23] Baruah, Kakali, et al. *Ocimum sanctum* mediated green synthesis of silver nanoparticles: A biophysical study towards lysozyme binding and anti-bacterial activity. *Journal of Molecular Liquids*, 2021;337:116422.
- [24] Kelani KM, et al. Comparing silver and gold nanoislands' surface plasmon resonance for bisacodyl and its metabolite quantification in human plasma. *BMC chemistry*, 2024;18(1):56.
- [25] Willian N, et al. Tinjauan biofabrikasi nanopartikel perak dan emas dengan menggunakan ekstrak tanaman. *Jurnal Zarah*, 2021;9(1):42-53.
- [26] Hasan S. A Review on Nanoparticles: Their Synthesis and Types Biosynthesis and Mechanism. *Research journal of recent sciences*, 2015;4: 1-3.
- [27] Mannuela N, Taurina W, Sari R. Preparasi dan Evaluasi Nanopartikel Azitromisin Kitosan dan Uji Aktivitas Antibakteri Terhadap Bakteri *Propionibacterium Acnes*. *J Mhs Farm Fak Kedokt UNTAN*. 2016;3(1):1–11.