

REVIEW: PENGARUH DAN PERAN UKURAN NANOPARTIKEL PERAK (AgNPs) TERHADAP EFEKTIVITAS ANTIBAKTERI

Benni Iskandar*, Shintia Marvika, Revanalia Nabilla, Winda Masayu Putri, Wahyi Maghfirah, Naya Mahesa Marlind

Sekolah Tinggi Ilmu Farmasi Riau, Jalan Kamboaja, Simpang Baru, Tampan, Simpang Baru, Pekanbaru, Riau 28289
Indonesia

*benniiskandar@stifar-riau.ac.id

ABSTRAK

Nanopartikel perak (AgNPs) dikenal luas karena sifat antibakterinya yang luar biasa, menjadikannya salah satu nanomaterial yang paling banyak diteliti dalam bidang biomedis dan teknologi kesehatan. Efektivitas antibakteri AgNPs sangat dipengaruhi oleh karakteristik fisikokimia, khususnya ukuran dan bentuk (morfologi) partikel. Tinjauan literatur ini bertujuan untuk mengevaluasi secara komprehensif pengaruh morfologi AgNPs terhadap aktivitas antibakteri terhadap berbagai jenis bakteri, baik gram positif maupun gram negatif. Berdasarkan berbagai studi terdahulu dengan pencarian menggunakan keywords “silver nanoparticle”, “antibacterial activity”, dan “characterization” didapatkanlah 111 judul artikel yang berikutnya dilakukan skrining hingga berjumlah (n=19) yang sesuai dengan kriteria inklusi review artikel ini. partikel dengan ukuran lebih kecil cenderung menunjukkan aktivitas antibakteri yang lebih tinggi karena memiliki luas permukaan yang lebih besar. Selain itu, bentuk partikel tertentu seperti segitiga atau batang dilaporkan memberikan efek antibakteri yang lebih kuat dibandingkan bentuk bola. Artikel ini juga membahas mekanisme interaksi antara AgNPs dengan dinding sel bakteri serta bagaimana variasi morfologi dapat memengaruhi penetrasi dan pelepasan ion perak. Melalui analisis kritis terhadap literatur terkini, kajian ini menekankan pentingnya pengendalian morfologi dalam sintesis AgNPs untuk mengoptimalkan potensi antibakterinya dalam aplikasi klinis dan industri.

Kata kunci: AgNPs; bentuk partikel; efektivitas antibakteri; morfologi; nanopartikel perak; ukuran partikel

A REVIEW ON THE IMPACT OF SIZE AND SHAPE OF SILVER NANOPARTICLES (AGNPS) ON THEIR ANTIBACTERIAL EFFICACY

ABSTRACT

Silver nanoparticles (AgNPs) are widely recognized for their exceptional antibacterial properties, making them one of the most extensively studied nanomaterials in the biomedical and healthcare fields. The antibacterial efficacy of AgNPs is significantly influenced by their physicochemical characteristics, particularly particle size and shape (morphology). This literature review aims to comprehensively evaluate how the morphology of AgNPs affects their antibacterial activity against both Gram-positive and Gram-negative bacteria. Based on various previous studies using the keywords 'silver nanoparticle', 'antibacterial activity', and 'characterization', a total of 111 article titles were obtained, which were then screened down to 19 (n=19) that met the inclusion criteria for this review article. Previous studies have shown that smaller-sized particles tend to exhibit higher antibacterial activity due to their larger surface area, while specific shapes, such as triangular or rod-shaped particles, demonstrate stronger effects compared to spherical forms. This review also explores the underlying mechanisms of AgNP interaction with bacterial cell walls and how morphological variations influence penetration and silver ion release. Through critical analysis of recent literature, this article highlights the importance of morphology control in the synthesis of AgNPs to maximize their antibacterial potential for clinical and industrial applications.

Keywords: AgNP; antibacterial effectiveness; morphology; particle shape; particle size; silver nanoparticles

PENDAHULUAN

Nanoteknologi telah mengalami perkembangan pesat dalam berbagai bidang, termasuk farmasi dan biomedis. Salah satu penerapan teknologi ini yang paling signifikan adalah dalam sistem penghantaran obat berbasis nanopartikel. Nanopartikel memiliki ukuran yang sangat kecil (1-100 nm) sehingga mampu meningkatkan efektivitas penghantaran obat dengan cara meningkatkan bioavailabilitas, menargetkan lokasi spesifik dalam tubuh, serta mengurangi efek samping yang tidak diinginkan. Sistem lepas kendali obat yang berbasis nanopartikel telah menarik perhatian luas

karena kemampuannya dalam meningkatkan efisiensi dan keamanan terapi dibandingkan metode konvensional (Abdassah, 2017). Penghantaran obat yang konvensional sering kali memiliki keterbatasan dalam hal stabilitas obat, bioavailabilitas, serta efek samping yang tinggi akibat distribusi yang tidak terarah dalam tubuh (Indrawati, 2023). Nanopartikel sebagai pembawa obat menawarkan solusi terhadap masalah ini dengan menyediakan sistem pelepasan obat yang lebih terkontrol dan tertarget. Nanopartikel dapat menembus berbagai penghalang biologis, seperti sawar darah-otak, serta memungkinkan pelepasan zat aktif dalam jangka waktu yang lebih lama. Dalam beberapa tahun terakhir, berbagai jenis nanopartikel telah dikembangkan untuk aplikasi dalam sistem penghantaran obat, termasuk nanopartikel berbasis biopolimer, nanoliposom, dendrimer, dan nanopartikel logam (Martien, R., Adhyatmika, I. D. K. I., Farida, V., & Sari, D. P. Gore et al., 2012). Misalnya, nanopartikel berbasis polimer seperti poli-laktat-ko-glikolat (PLGA) telah banyak digunakan dalam formulasi obat kanker untuk meningkatkan efikasi dan mengurangi toksisitas (Sa'adon, S., & Shariatnia, 2019). Selain itu, nanopartikel liposomal juga telah digunakan untuk meningkatkan kelarutan dan stabilitas zat aktif farmasi (Wang & Liu, 2008).

Sebagian besar perhatian penelitian dalam aktivitas antibakteri difokuskan pada pengembangan nanomaterial perak. (Budi, A., & Santoso, 2017). Faktanya, perak telah digunakan sebagai agen antibakteri selama ribuan tahun, mulai dari pengawetan makanan dan sanitasi air pada peradaban awal untuk menyembuhkan luka bakar. Nanopartikel perak (AgNPs) telah dipelajari secara luas, dan telah dilaporkan memiliki efek terhadap bakteri Gram-negatif dan Gram-positif, meskipun bakteri Gram-positif kurang sensitif terhadap aksi AgNPs dibandingkan bakteri Gram-negatif. Hal ini disebabkan oleh perbedaan permukaan bakteri Gram-negatif dan Gram-positif: Bakteri Gram-negatif memiliki membran sel tipis (8–12 nm) dengan lipopolisakarida bermuatan negatif, sehingga mendorong adhesi nanopartikel, sedangkan bakteri Gram positif, di sisi lain, memiliki membran yang lebih tebal (20–80 nm) dan peptidoglikan bermuatan negatif yang dapat menjadi hambatan penetrasi AgNPs (Menichetti, 2023). Inilah alasan mengapa ukuran nanopartikel memiliki dampak pada aktivitas antibakteri: nanopartikel yang lebih kecil larut lebih cepat, melepaskan lebih banyak Ag+ faktor toksisitas relevan lainnya yang bertanggung jawab atas aktivitas antibakteri AgNPs adalah pembentukan spesies oksigen reaktif (ROS), yang menyebabkan stres oksidatif dan apoptosis sel. Peningkatan ROS yang dipicu oleh AgNP diatur oleh dua mekanisme (Mokhena, T. C., & Franco, 2020). Mekanisme pertama bergantung pada keberadaan gugus reaktif, seperti radikal atau oksidan, yang sering hadir di permukaan nanopartikel dan secara langsung berperan dalam pembentukan ROS. Yang kedua melibatkan penonaktifan jalur perlindungan ROS, seperti kerusakan glutathione (antioksidan sel khas GSH), menghilangkan aktivitas pemulungan terhadap pembentukan ROS. Jelaslah bahwa, seperti halnya kasus Ag+ mekanisme terkait, pembentukan ROS juga didorong oleh sifat-sifat nanopartikel, seperti ukuran dan bentuk. Memang, meskipun jalur toksisitas yang tepat masih belum jelas, dapat dikatakan bahwa jalur tersebut tampaknya berkorelasi dengan sifat permukaan (Menichetti, 2023).

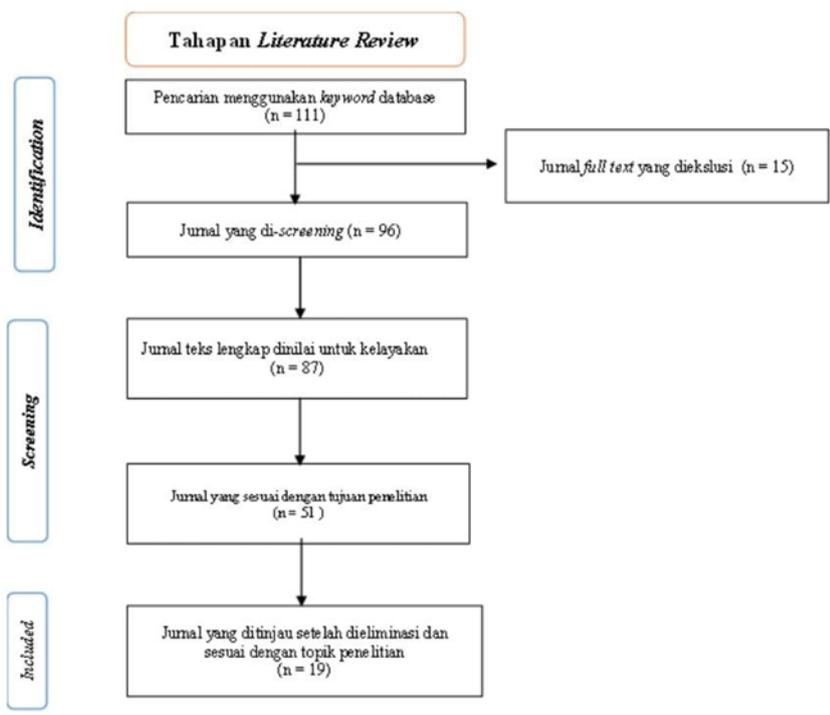
Nanopartikel menawarkan berbagai keunggulan dalam sistem lepas kendali obat. Salah satu manfaat utama adalah peningkatan bioavailabilitas obat. Beberapa senyawa farmasi memiliki kelarutan yang rendah dalam air, sehingga sulit diserap oleh tubuh. Dengan menggunakan nanopartikel, obat dapat terdispersi lebih baik dan diserap lebih efisien dalam sistem pencernaan atau jaringan target (Poelstra et al., 2012). Selain itu, nanopartikel dapat memungkinkan pelepasan obat yang terkontrol dalam jangka waktu tertentu, sehingga mengurangi frekuensi pemberian obat dan meningkatkan kepatuhan pasien terhadap terapi (Winarti, 2015). Misalnya, penggunaan nanopartikel lipid padat (SLN) dalam sistem penghantaran obat memungkinkan pelepasan zat aktif secara perlahan, menghindari lonjakan kadar obat dalam darah yang dapat menyebabkan efek samping (Franco, R., & De Marco, 2020). Meskipun nanopartikel menawarkan berbagai keuntungan dalam sistem penghantaran obat, terdapat beberapa tantangan yang perlu diatasi sebelum teknologi ini dapat diterapkan secara luas dalam dunia medis. Salah satu tantangan utama adalah potensi toksisitas nanopartikel, terutama yang berbasis logam berat seperti perak dan emas (Silvero C et al.,

2018). Akumulasi nanopartikel dalam tubuh dapat menyebabkan stres oksidatif dan peradangan kronis jika tidak dikeluarkan secara efektif dari sistem tubuh (Zhang, X., Wang, Y., & Zhao, 2018). Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengembangkan nanopartikel yang biodegradable dan biokompatibel.

Selain itu, nanopartikel juga mulai digunakan dalam terapi berbasis gen dan imunoterapi. Misalnya, nanopartikel berbasis kitosan telah dikembangkan sebagai sistem penghantaran DNA dan RNA untuk terapi genetik. Teknologi ini memungkinkan perbaikan gen yang rusak atau peningkatan ekspresi gen tertentu dalam tubuh, yang berpotensi menjadi solusi bagi berbagai penyakit genetik dan kanker (Junod, B., & Beaver, 2008). Secara keseluruhan, penggunaan nanopartikel dalam sistem lepas kendali obat menawarkan solusi inovatif dalam meningkatkan efektivitas terapi sekaligus mengurangi efek samping yang tidak diinginkan. Dengan semakin berkembangnya teknologi dan penelitian di bidang ini, sistem penghantaran obat berbasis nanopartikel diharapkan dapat menjadi standar dalam terapi medis modern, memberikan manfaat yang lebih besar bagi pasien serta meningkatkan kualitas hidup secara keseluruhan (Pratami et al., 2020). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan tinjauan sistematis terhadap berbagai studi terdahulu yang membahas nanopartikel perak (AgNPs), khususnya yang berkaitan dengan efektivitas antibakterinya dan karakteristik fisiknya, seperti ukuran partikel, bentuk partikel, dan morfologi. Dengan menggunakan kata kunci “silver nanoparticle”, “antibacterial activity”, dan “characterization”, telah diperoleh 111 artikel yang kemudian disaring berdasarkan kriteria inklusi hingga tersisa 19 artikel yang relevan. Melalui tinjauan ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai hubungan antara sifat fisik AgNPs dengan aktivitas antibakterinya.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif dengan metode studi literatur untuk menganalisis peran nanopartikel dalam sistem lepas kendali obat. Data dikumpulkan dari berbagai sumber terpercaya, termasuk jurnal ilmiah, buku, dan artikel penelitian yang membahas inovasi dalam teknologi penghantaran obat berbasis nanopartikel. Proses kajian literatur dilakukan melalui beberapa tahapan, dimulai dari identifikasi sumber, seleksi berdasarkan relevansi dengan topik penelitian, hingga analisis mendalam terhadap temuan utama dari setiap literatur. Kriteria inklusi dalam pemilihan referensi meliputi publikasi yang membahas mekanisme pelepasan obat menggunakan nanopartikel, efektivitasnya dalam meningkatkan bioavailabilitas, serta potensi keamanannya. Tinjauan literatur ini dilakukan dengan mengumpulkan dan menganalisis artikel dari jurnal nasional maupun internasional yang relevan dalam kurun waktu 10 tahun terakhir dengan mengambil sumber pencarian dari mesin pencari seperti Science Direct, PubMed, Google Scholar dengan pencarian menggunakan keywords “silver nanoparticle”, “antibacterial activity”, dan “characterization” didapatkanlah 111 judul artikel yang berikutnya dilakukan skrining hingga berjumlah (n=19) yang sesuai dengan kriteria inklusi review artikel ini. Hasil dari studi literatur ini kemudian dianalisis secara kualitatif untuk mendapatkan gambaran yang komprehensif mengenai manfaat, tantangan, dan prospek penggunaan nanopartikel dalam sistem penghantaran obat. Pendekatan ini memungkinkan penelitian untuk menyusun sintesis yang menyeluruh terkait perkembangan teknologi nanopartikel dalam bidang farmasi, serta merumuskan implikasi bagi pengembangan sistem lepas kendali obat di masa depan.



HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut adalah tabulasi hasil penelitian mengenai peran nanopartikel dalam sistem lepas kendali obat berdasarkan 19 penelitian atau studi setelah dilakukan pencarian sesuai kriteria inklusi dalam review artikel ini :

Tabel 1.
Hasil tinjauan literatur

No	Jenis Nanopartikel	Metode Penelitian	Efek Farmakologi	Ukuran Partikel/	Dosis	Sumber
1	MnFe ₂ O ₄ berlapis HSA	In vivo (Tikus Wistar)	Antikanker	184.5 nm	-	(Ilhami, 2016)
2	Amoxi@AuNPs	In vivo dan in vitro	Antibakteri	-	1.5 µg/mL	(Silvero C et al., 2018)
3	IMP (Poli(laktat-koglikolat))	In vivo dan in vitro	Imunomodulator	4 × 10 ⁹ Partikel	IMP per injeksi (1.4 mg/kg)	(Sharma et al., 2020)
4	Nanopartikel Ovarium	In vitro dan in vivo	Antitumor Ovarium	-	-	(Cao, 2023)
5	Lanosterol NP (LAN-NP)	In vivo (Injeksi Intravitreal)	Antikatarak	125.2 nm dan 191 nm	-	(Nagai, 2023)
6	Nanopartikel Polimer	In vivo (Injeksi Intratumoral)	Antitumor	580 nm	-	(Brachi, 2023)
7	MoS ₂ -Kitosan-Nanopartikel Perak	In vivo dan in vitro	Antifungal	10 nm	-	Zhang et al., 2018
8	ZnO NP dan SNP	In vivo (Tikus)	Antidiabetes	-	100 mg/kg dalam buffer natrium sitrat (pH 4.5)	(Alkaladi et al., 2014)
9	Nanoemulsi	In vivo (Tikus)	Antiinflamasi	79.5 nm dan	-	Wang et

	Kurkumin				618.6 nm		al., 2008
10	Nanopartikel Polietilen (PEG)	Glikol	In vivo	Peningkatan Kelarutan Obat	<100 nm	-	(McConville, J. T., 2019)
11	Liposom Polimer		In vitro	Penghantaran Obat Tertarget	<200 nm	-	Jain et al., 2017
12	Nanopartikel Chitosan		In vivo dan in vitro	Sistem Penghantaran Gen	50-300 nm	-	Shariatinia & Barzegari, 2019
13	Nanopartikel Silika		In vivo	Deteksi Penyakit	10-50 nm	-	Franco & De Marco, 2020
14	Dendrimers		In vivo dan in vitro	Penghantaran Obat Antikanker	5-10 nm	-	Sa'adon et al., 2019
15	Nanopartikel Emas		In vitro	Fototerapi Kanker	10-100 nm	-	(Huang, X., & Hainfeld, 2013)
16	Nanopartikel Oksida Besi		In vivo (MRI)	Agen Kontras MRI	5-20 nm	-	Poelstra et al., 2012
17	Nanopartikel PLGA-Doxorubicin		In vivo dan in vitro	Penghantaran Obat Kanker	100-200 nm	-	Martien et al., 2012
18	Nanopartikel (AgNPs)	Silver	In vivo dan in vitro	Antibakteri	1-100 nm	-	Abdassah, 2017
19	Nanopartikel Padat (SLN)	Lipid	In vivo	Pelepasan Obat Terkontrol	50-100 nm	-	Winarti, 2015

Nanoteknologi telah membawa revolusi dalam bidang farmasi, terutama dalam pengembangan sistem penghantaran obat yang lebih efektif dan terkontrol. Salah satu teknologi yang berkembang pesat adalah penggunaan nanopartikel sebagai pembawa obat untuk meningkatkan bioavailabilitas, memperpanjang durasi pelepasan obat, dan mengurangi efek samping yang tidak diinginkan. Berbagai jenis nanopartikel telah dikembangkan, termasuk liposom, polimer biodegradabel, nanoemulsi, dan nanopartikel anorganik yang berperan dalam penghantaran obat secara spesifik ke target yang diinginkan (SARI & Abdaassah, 2023). Manganese ferrite ($MnFe_2O_4$) adalah salah satu jenis nanopartikel spinel ferrite yang menarik perhatian dalam bidang nanoteknologi karena sifat magnetiknya yang unik, biokompatibilitas, dan potensi aplikasinya dalam berbagai bidang, termasuk biomedis, lingkungan, dan energi. $MnFe_2O_4$ memiliki struktur spinel dengan distribusi kation yang dapat disesuaikan, memungkinkan pengaturan sifat magnetiknya. Dalam skala nano, $MnFe_2O_4$ menunjukkan perilaku superparamagnetik, yang berarti partikel-partikel kecil ini dapat dimagnetisasi di bawah pengaruh medan magnet eksternal tetapi tidak mempertahankan magnetisasi setelah medan tersebut dihilangkan (Kusuma, D., & Ramdani, 2022)

Nanopartikel Emas (Gold Nanoparticles - AuNPs) Nanopartikel emas memiliki ukuran antara 1–100 nm dan dikenal karena sifat optiknya yang unik akibat resonansi plasmon permukaan lokal (LSPR). Sifat ini memungkinkan AuNPs digunakan dalam berbagai aplikasi medis, termasuk terapi kanker melalui terapi fototermal, penghantaran obat, dan biosensor. Kemampuan AuNPs untuk dikongugasi dengan molekul biologis seperti antibodi memungkinkan penargetan spesifik terhadap sel kanker, meningkatkan efisiensi terapi dan mengurangi efek samping (Ilhami, 2016). AgNPs dikenal karena sifat antimikrobanya yang kuat, menjadikannya bahan yang umum digunakan dalam produk kosmetik seperti krim jerawat, deodoran, dan aftershave. Partikel ini dapat menghambat pertumbuhan dan membunuh mikroorganisme, memberikan perlindungan tambahan terhadap infeksi kulit. Sintesis hijau AgNPs menggunakan ekstrak tanaman juga telah dikembangkan untuk

mengurangi dampak lingkungan dari proses produksi Nanopartikel oksida logam seperti TiO_2 dan ZnO digunakan dalam produk tabir surya karena kemampuannya menyerap dan memantulkan sinar UV. Dengan ukuran nano, partikel ini dapat memberikan perlindungan UV yang lebih efektif tanpa meninggalkan residu putih pada kulit, meningkatkan kenyamanan pengguna (Vinod, T. P., & Jelinek, 2019). MNPs, seperti Fe_3O_4 , memiliki sifat magnetik yang memungkinkan penggunaannya dalam pencitraan MRI, terapi hipertermia, dan penghantaran obat yang ditargetkan. Kemampuan untuk diarahkan menggunakan medan magnet eksternal memungkinkan kontrol yang lebih baik terhadap distribusi dan akumulasi nanopartikel dalam tubuh. Quantum Dots (QD) Quantum dots adalah nanokristal semikonduktor berukuran 2–10 nm dengan sifat fluoresensi yang kuat, menjadikannya alat yang berguna dalam pencitraan seluler dan deteksi penyakit. Kemampuan mereka untuk memancarkan cahaya pada panjang gelombang tertentu memungkinkan visualisasi struktur biologis dengan resolusi tinggi (Shadab, M., & Amjad, 2020).

Dendrimer adalah molekul polimerik bercabang simetris dengan ukuran sekitar 20 nm, terdiri dari inti, cabang, dan gugus fungsional terminal. Struktur ini memungkinkan dendrimer digunakan dalam penghantaran obat, terapi gen, dan pencitraan medis, karena dapat mengenkapsulasi molekul obat dan mengarahkannya ke target spesifik (Arief, R. A., & Wahyudi, 2022). Liposom adalah vesikel berbentuk bola dengan lapisan ganda lipid yang dapat mengenkapsulasi obat hidrofobik dan hidrofilik. Mereka digunakan dalam penghantaran obat kemoterapi langsung ke tumor, mengurangi efek samping pada sel sehat dan meningkatkan efisiensi terapi. Nanokapsul adalah partikel berbentuk bola berongga dengan ukuran 50–300 nm, berisi obat di dalam rongga. Mereka digunakan dalam terapi antivirus seperti HIV dan influenza, memungkinkan pelepasan obat yang terkontrol dan meningkatkan bioavailabilitas (Siregar, P. M., & Alamsyah, 2020). SLN adalah partikel lipid padat berukuran nano yang stabil dan dapat mengenkapsulasi obat. Mereka digunakan dalam kosmetik untuk meningkatkan penetrasi dan stabilitas bahan aktif, serta dalam farmasi untuk penghantaran obat dengan pelepasan yang terkontrol (Winarti, R., 2015). NLC adalah sistem penghantaran obat berbasis lipid dengan struktur tidak teratur, meningkatkan kapasitas muatan obat dan stabilitas formulasi. Mereka digunakan dalam kosmetik dan farmasi untuk penghantaran obat yang lebih efisien dan stabil (Ananda, Y., & Sutanto, 2016).

Nanopartikel polimerik dibuat dari polimer biodegradable seperti PLA dan PEG, digunakan dalam sistem penghantaran obat dan rekayasa jaringan. Mereka memungkinkan pelepasan obat yang terkontrol dan meningkatkan stabilitas serta bioavailabilitas obat (Sa'adon, S., & Shariatnia, 2019). Nanopartikel keramik seperti TiO_2 memiliki sifat mekanik dan termal yang unik, digunakan dalam sistem pemurnian udara dan permukaan yang dapat membersihkan diri sendiri. Mereka juga digunakan dalam kosmetik sebagai agen pengental dan dalam penghantaran obat. Nanopartikel Karbon (Carbon Nanotubes dan Fullerenes) Struktur karbon berbentuk tabung atau bola dengan sifat listrik dan mekanik yang luar biasa, digunakan dalam elektronik, sensor, dan material komposit. Mereka juga memiliki potensi dalam penghantaran obat dan terapi kanker. Partikel Janus memiliki dua sisi berbeda, satu hidrofilik dan satu hidrofobik, memungkinkan mereka digunakan sebagai stabilisator emulsi dan dalam penghantaran obat (Choudhury, R., & Indermun, 2021). Sifat unik ini memungkinkan mereka berinteraksi dengan berbagai lingkungan kimia. Nanoliposom adalah liposom berukuran nano yang meningkatkan efisiensi penetrasi ke dalam sel, digunakan dalam penghantaran obat dan kosmetik. Mereka memungkinkan penghantaran bahan aktif yang lebih efektif dan stabil (Jain, A., et al., 2017).

Nanoemulsi adalah emulsi berukuran nano yang meningkatkan stabilitas dan bioavailabilitas bahan aktif, digunakan dalam kosmetik dan farmasi untuk penghantaran bahan aktif. Mereka juga digunakan dalam produk makanan dan minuman untuk meningkatkan penyerapan nutrisi. Nanopartikel pati adalah partikel berukuran nano yang terbuat dari pati, meningkatkan kekuatan pengikatan dan viskositas rendah, digunakan dalam pengembangan bioplastik dan bahan komposit. Mereka juga digunakan dalam penghantaran obat dan kosmetik (Martien, R., Adhyatmika, I. D. K.

I., Farida, V., & Sari, D. P. Gore et al., 2012) Nanopartikel silika adalah partikel silika berukuran nano dengan luas permukaan tinggi, digunakan dalam kosmetik sebagai agen pengental dan dalam penghantaran obat. Mereka juga digunakan dalam katalisis dan (Franco, R., & De Marco, 2020). Nanopartikel berbasis gelas ionik dibuat melalui interaksi antara polimer bermuatan dan ion multivalen, digunakan dalam penghantaran obat untuk meningkatkan bioavailabilitas dan stabilitas obat. Mereka juga digunakan dalam kosmetik untuk meningkatkan tekstur dan stabilitas produk (Shariatnia, Z., & Barzegari, 2019)

Nanopartikel perak (AgNPs) telah menjadi fokus utama dalam pengembangan agen antibakteri karena sifat uniknya yang mampu melawan berbagai jenis bakteri, termasuk yang telah resistan terhadap antibiotik. AgNPs dinilai sangat potensial untuk digunakan dalam aplikasi biomedis sebagai alternatif terapi antimikroba (Menichetti, 2023). Mekanisme utama yang mendasari aktivitas antibakteri AgNPs adalah pelepasan ion perak (Ag^+). Ion ini sangat reaktif dan mampu berikatan dengan molekul penting dalam sel bakteri, seperti DNA, protein, dan membran sel. Interaksi ini menyebabkan gangguan fungsi sel yang berujung pada kematian bakteri. Menjelaskan bahwa ion Ag^+ juga berperan dalam merusak struktur membran sel bakteri, sehingga meningkatkan permeabilitas dan menyebabkan kebocoran isi sel. Proses pelepasan Ag^+ dipengaruhi oleh ukuran AgNPs, di mana partikel yang lebih kecil memiliki luas permukaan lebih besar dan lebih cepat terlarut secara oksidatif (Menichetti, 2023). Selain pelepasan Ag^+ , aktivitas antibakteri AgNPs juga berkaitan dengan pembentukan spesies oksigen reaktif (ROS). ROS seperti radikal hidroksil dan superoksida dapat menyebabkan stres oksidatif, merusak struktur protein, lipid, dan DNA sel bakteri, serta memicu kematian sel. ROS dapat terbentuk melalui dua mekanisme utama. Jalur pertama bergantung pada gugus reaktif di permukaan AgNPs yang secara langsung menghasilkan ROS. Sementara jalur kedua melibatkan penonaktifan jalur perlindungan sel seperti glutathione (GSH), sehingga sel tidak mampu menetralkan ROS yang terbentuk (Menichetti, 2023).

Efektivitas antibakteri dari AgNPs juga sangat dipengaruhi oleh karakteristik fisikokimia partikel. Ukuran, bentuk, dan muatan permukaan partikel memengaruhi interaksi dengan sel bakteri serta laju pelepasan ion Ag^+ . Oleh karena itu, kontrol terhadap karakteristik ini menjadi kunci dalam desain AgNPs yang efektif. Bentuk partikel juga memberikan pengaruh berbeda terhadap aktivitas antibakteri. Mengemukakan bahwa bentuk segitiga, batang, atau bentuk dengan tepi tajam memiliki luas permukaan yang lebih besar untuk interaksi, yang dapat meningkatkan penetrasi partikel ke dalam dinding sel bakteri dan merusak strukturnya lebih efektif (Menichetti, 2023). Dalam pengembangan lebih lanjut, juga menyebutkan bahwa kombinasi AgNPs dengan bahan lain, seperti antibiotik atau polimer, dapat meningkatkan stabilitas dan efektivitasnya. Kombinasi ini dapat menghasilkan efek sinergis, terutama dalam mengatasi bakteri resisten yang tidak dapat ditanggulangi dengan satu agen saja. Metode sintesis AgNPs juga menentukan sifat akhir nanopartikel. Metode kimia, fisik, dan biologis menghasilkan ukuran dan morfologi yang berbeda, yang pada gilirannya memengaruhi kecepatan pelepasan Ag^+ dan efisiensi antimikroba. Pemilihan metode sintesis menjadi penting dalam mendesain AgNPs yang sesuai dengan tujuan terapeutik (Menichetti, 2023).

SIMPULAN

Nanopartikel perak (AgNPs) merupakan salah satu jenis nanomaterial yang telah banyak diteliti dan digunakan karena sifat antibakterinya yang kuat. Efektivitas antibakteri dari AgNPs sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor fisik, terutama ukuran dan bentuknya. Ukuran partikel yang lebih kecil memiliki luas permukaan yang lebih besar, sehingga meningkatkan kontak dengan dinding sel bakteri dan mempermudah penetrasi ke dalam sel. Hal ini menyebabkan kerusakan struktural dan fisiologis pada bakteri, seperti gangguan membran sel, pembentukan ROS (Reactive Oxygen Species), dan interaksi dengan DNA. Selain ukuran, bentuk AgNPs juga memainkan peran penting dalam menentukan efektivitasnya. Bentuk seperti segitiga, batang, dan bulat menunjukkan tingkat interaksi yang berbeda terhadap bakteri. Penelitian menunjukkan bahwa nanopartikel berbentuk

segitiga dengan ujung tajam cenderung memiliki aktivitas antibakteri yang lebih tinggi karena memungkinkan penetrasi lebih efektif ke dalam membran bakteri. Sementara itu, bentuk bulat dan kubik umumnya lebih stabil namun aktivitasnya dapat lebih rendah tergantung pada jenis bakteri yang ditargetkan. Secara keseluruhan, semakin kecil ukuran dan semakin tajam atau kompleks bentuk permukaan nanopartikel, maka semakin besar potensi antibakteri yang dimiliki. Oleh karena itu, dalam pengembangan aplikasi AgNPs untuk keperluan medis, penting untuk mempertimbangkan desain morfologi partikel yang optimal untuk memaksimalkan efek antibakteri tanpa meningkatkan toksisitas terhadap sel manusia

DAFTAR PUSTAKA

- Abdassah, M. (2017). Nanopartikel dalam Formulasi Obat Tertarget. *Jurnal Farmasi Klinik Indonesia*, 12(3), 121-130. *Farmaka*, 15(1), 45-52.
- Alkaladi, A., Abdelazim, A. M., & Afifi, M. (2014). Antidiabetic activity of zinc oxide and silver nanoparticles on streptozotocin-induced diabetic rats. *International Journal of Molecular Sciences*, 15(2), 2015-2023.
- Ananda, Y., & Sutanto, D. (2016). Lipid Nanoparticles sebagai Pembawa Obat. *Jurnal Teknologi Farmasi*, 12(3), 65-75.
- Arief, R. A., & Wahyudi, R. (2022). Dendrimer dan Potensinya sebagai Pembawa Obat. *Batukarinfo.com*.
- Brachi. (2023). Organoleptic Test and Physical Quality of Sapudi Lamb Meat from Several Different Muscle Parts. *Jurnal Ilmu Ternak Universitas Padjadjaran*, 23(1), 52-59.
- Budi, A., & Santoso, H. (2017). Nanopartikel Magnetik dalam Terapi Kanker. *Jurnal Kedokteran Nuklir Indonesia*, 13(4), 45-50.
- Cao. (2023). Nanopartikel Sebagai Sistem Penghantaran Obat Tertarget Melalui Injeksi. *Jurnal Bidang Ilmu Kesehatan*, 13(3), 288-295.
- Choudhury, R., & Indermun, S. (2021). Efikasi Sistem Penghantaran Obat Nano dalam Terapi Kanker. *Jurnal Kedokteran dan Farmasi*, 21(2), 150-160.
- Franco, R., & De Marco, G. (2020). Silica Nanoparticles in Biomedical Applications. *Advanced Healthcare Materials*, 9(12), 2000542.
- Huang, X., & Hainfeld, J. F. (2013). Gold nanoparticles as a cancer therapeutic agent. *Nano Today*, 8(5), 506-515. *Precis. Nanomed.*
- Ilhami, F. B. (2016). Efektifitas Nanopartikel Magnetik (MnFe₂O₄) Berlapis HSA Tertarget Reseptor Folat Terhadap Sel Kanker. *Jurnal Biosains Pascasarjana*, 18(2), 140-152.
- Indrawati, T. (2023). Pemanfaatan Nanosains dan Nanoteknologi untuk Meningkatkan Efektivitas Obat. *Sainstech Farma*, 16(2), 73-75.
- Junod, B., & Beaver, A. (2008). Sistem Penghantaran Obat Berbasis Nanoteknologi. *Jurnal Kedokteran dan Farmasi*, 13(2), 87-95.
- Kusuma, D., & Ramdani, H. (2022). Nanoteknologi dalam Pengobatan Penyakit Degeneratif. *Jurnal Farmasi dan Bioteknologi Indonesia*, 19(1), 75-85.

- Martien, R., Adhyatmika, I. D. K. I., Farida, V., & Sari, D. P. Gore, A. C., Martien, K. M., Gagnidze, K., & Pfaff, D. (2012). Perkembangan Teknologi Nanopartikel Sebagai Sistem Penghantaran Obat. *Majalah Farmaseutik*, 8(1), 133-135.
- McConville, J. T., et al. (2019). Polyethylene Glycol-Modified Nanoparticles for Drug Solubility Enhancement. *Pharmaceutics*, 11(3), 128.
- Menichetti. (2023). Aktivitas antibakteri nanopartikel Ag/Fe₂O₃ terhadap *Klebsiella pneumoniae* MDR (Multi-Drug Resistant) menggunakan metode Kirby Bauer.
- Mokhena, T. C., & Franco, R. (2020). Polimer dalam Formulasi Nanopartikel Obat. *Jurnal Farmasi dan Ilmu Biomedis*, 16(4), 55-65.
- Nagai. (2023). Biosensor Elektrokimia untuk Memonitor Level Hemoglobin Terглиkasi (HbA1c) pada Penyakit Diabetes Melitus. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 19(1), 94–107.
- Poelstra, K., Prakash, J., & Beljaars, L. (2012). Drug targeting to the diseased liver. *Journal of Controlled Release*, 161(2), 188–197.
- Pratami, D. K., Mun'im, A., Hermansyah, H., Gozan, M., & Sahlan, M. (2020). Microencapsulation optimization of propolis ethanolic extract from *Tetragonula* spp using response surface methodology. *Int. J. App. Pharm*, 12(1).
- Sa'adon, S., & Shariatinia, Z. (2019). Biopolymer-Based Nanoparticles in Gene Delivery Applications. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(21), 5341.
- SARI, D. P., & Abdaassah, M. (2023). Efek kitosan terhadap kontrol pelepasan obat. *Farmaka*, 15(2), 53–66.
- Shadab, M., & Amjad, M. (2020). Quantum Dots: Principles and Applications. *Journal of Luminescence*, 219, 116-123.
- Shariatinia, Z., & Barzegari, A. (2019). Nanopartikel Chitosan untuk Penghantaran Gen. *Jurnal Bioteknologi Medis*, 15(3), 90-100. Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Sam Ratulangi.
- Sharma, A., Rastogi, V., & Agrawal, A. K. (2020). Multi-parametric optimisation by quantitative assessment of distribution index and area fraction of composite. *Practical Metallography*, 57(9), 588–613.
- Silvero C, M. J., Rocca, D. M., de la Villarmois, E. A., Fournier, K., Lanterna, A. E., Perez, M. F., Becerra, M. C., & Scaiano, J. C. (2018). Selective photoinduced antibacterial activity of amoxicillin-coated gold nanoparticles: from one-step synthesis to in vivo cytocompatibility. *ACS Omega*, 3(1), 1220–1230.
- Siregar, P. M., & Alamsyah, D. (2020). Nanokapsul: Pengembangan dan Aplikasinya dalam Farmasi. *Kanal Pengetahuan Farmasi UGM*.
- Vinod, T. P., & Jelinek, R. (2019). Inorganic Nanoparticles in Cosmetics. Dalam: *Nanocosmetics*, hlm. 29-46.
- Winarti, S. (2015). Pengembangan Nanopartikel Lipid Padat untuk Sistem Pelepasan Obat Terkontrol. *Jurnal Teknologi Farmasi*, 10(2), 45-52.

Zhang, X., Wang, Y., & Zhao, Z. (2018). Antifungal Applications of Silver-Based Nanoparticles. *Journal of Mycology*, 25(4), 302-315.