



ARTIKEL PENELITIAN

Pengaruh konsentrasi NaBH_4 dan penambahan surfaktan *sodium dodecyl sulfate* (SDS) dalam sintesis nanopartikel perak sebagai material antibakteri

Arif Budianto Cuaca¹, Ratna Frida Susanti¹, Anastasia Prima Kristijarti¹, Widi Astuti², Himawan Tri Bayu Murti Petrus³, Kevin Cleary Wanta^{1,*}

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan, Jalan Ciumbuleuit No. 94, Bandung, 40141, Indonesia

²Pusat Riset Teknologi Pertambangan, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Jalan Ir. Sutami, Km. 15, Tanjung Bintang, 35361, Indonesia

³Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jalan Grafika No. 2, Kampus UGM, Yogyakarta, 55281, Indonesia

Disubmit 20 Maret 2024; direvisi 29 April 2024; diterima 11 Mei 2024



OBJECTIVES This study was carried out to study the synthesis of silver nanoparticles in which the concentrations of the reducing agent NaBH_4 and SDS surfactant varied. Furthermore, the silver nanoparticles formed were characterized and tested for their antibacterial capabilities to show how varying parameters could influence the properties of silver nanoparticles as an antibacterial material. **METHODS** 0.05 M AgNO_3 precursor solution was mixed with NaBH_4 solution as a reducing agent in the 0.001–0.015 M concentration range. In addition, surfactant was also added under CMC conditions. The Ag^+ ion reduction process took place at room temperature for 5 minutes. Then, the colloidal silver nanoparticle samples were characterized and tested for antibacterial properties. The bacteria used are *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. **RESULTS** This study reduced 98% of Ag^+ ions to Ag^0 particles when using surfactants and the highest concentration of NaBH_4 , whereas the synthesis of silver nanoparticles without surfactants could only reduce 88% of Ag^+ ions. Using surfactants also produces particles with a much smaller diameter, around 101 nm. Antimicrobial testing also showed that silver nanoparticles with surfactants could inhibit

bacterial growth. **CONCLUSIONS** Thus, using surfactants and high concentrations of NaBH_4 can provide better antimicrobial characteristics and capabilities to these silver nanoparticles.

KEYWORDS antibacterial; nanoparticle; silver; surfactant

TUJUAN Studi ini dilakukan dengan tujuan untuk mempelajari sintesis nanopartikel perak di mana konsentrasi agen reduksi NaBH_4 dan penggunaan surfaktan SDS divariasikan. Lebih jauh, nanopartikel perak yang terbentuk dikarakterisasi dan diuji kemampuan antibakterinya sehingga dapat terlihat bagaimana parameter yang divariasikan dapat memengaruhi sifat dari nanopartikel perak sebagai material antibakteri. **METODE** Larutan prekursor AgNO_3 0,05 M dicampur dengan larutan NaBH_4 , sebagai agen reduksi pada rentang konsentrasi 0,001–0,015 M. Selain itu, surfaktan juga ditambahkan pada kondisi CMC. Proses reduksi ion Ag^+ berlangsung pada suhu kamar selama 5 menit. Kemudian, sampel koloid nanopartikel perak yang terbentuk dikarakterisasi dan diuji antibakteri. Bakteri yang digunakan adalah *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*. **HASIL** Studi ini berhasil mereduksi 98% ion Ag^+ menjadi partikel Ag^0 saat penggunaan surfaktan dan konsentrasi NaBH_4 tertinggi sedangkan sintesis nanopartikel perak tanpa surfaktan hanya dapat mereduksi 88% ion Ag^+ . Penggunaan surfaktan juga menghasilkan partikel dengan diameter yang jauh lebih kecil, yaitu sekitar 101 nm. Pengujian antimikroba pun juga menunjukkan bahwa nanopartikel perak dengan surfaktan mampu menghambat pertumbuhan bakteri. **KESIMPULAN** Dengan demikian, penggunaan surfaktan dan konsentrasi NaBH_4 yang tinggi mampu memberikan karakteristik dan kemampuan antimikroba yang lebih baik pada nanopartikel perak ini.

KATA KUNCI antibakteri; nanopartikel; perak; surfaktan

*Korespondensi: kcwanta@unpar.ac.id

1. PENDAHULUAN

Dalam beberapa dekade terakhir, nanoteknologi berperan sebagai ilmu yang sangat menjanjikan untuk diaplikasikan ke berbagai bidang dan industri, khususnya bidang medis. Teknologi ini telah berkembang pesat di mana sintesis nanopartikel berbasis logam menjadi hal yang banyak untuk dilakukan dan dipelajari. Nanopartikel perak merupakan salah satu nanomaterial yang menarik perhatian. Perak memiliki sifat alami sebagai antimikroba (antibakteri dan anti-jamur) sehingga nanopartikel perak dapat berperan aktif sebagai penghambat pertumbuhan mikroba serta tidak toksik apabila digunakan pada kulit manusia (Kędziora dkk. 2021; Si-rajudin dan Rahmanisa 2016; Zhang dkk. 2022). Partikel berbasis perak mampu merusak dinding membran sel, merusak fungsi sel, dan menyebabkan *oxidative stress* pada mikroba (Mikhailova 2020; More dkk. 2023). Dengan sifat tersebut, nanopartikel perak memiliki potensi besar dalam perkembangan ilmu, produk, dan teknologi di bidang kesehatan.

Sintesis nanopartikel perak telah menjadi fokus utama dalam setiap penelitian. Berbagai studi yang telah dilakukan menitikberatkan pada pengembangan metode dan kondisi operasi selama proses sintesis sehingga terbentuk partikel perak dengan karakteristik yang lebih baik, khususnya yang berhubungan dengan aspek ukuran, bentuk, dan sifat permukaannya. Terdapat beberapa metode untuk memproduksi nanopartikel perak ini, seperti sonokimia, reduksi fotokimia, reduksi kimia, atau lainnya (Arif dkk. 2021; Calderón-Jiménez dkk. 2022). Metode reduksi kimia biasanya digunakan dalam sintesis material ini karena metode ini murah dan sederhana (Jamkhande dkk. 2019).

Pembuatan partikel berukuran nanometer tidak hanya dapat mengandalkan metode reduksi kimia saja, khususnya untuk mencegah terjadinya aglomerasi dan meningkatkan karakteristik partikel. Salah satu cara untuk mengoptimalkan karakter nanopartikel perak adalah dengan menambahkan surfaktan selama proses sintesisnya (Morsy 2014; Niu dkk. 2022). Dalam bidang nanoteknologi, pemanfaatan surfaktan merupakan pendekatan dan strategi yang sangat efisien dan sudah teruji. Surfaktan berperan besar sebagai agen stabilisasi yang memiliki kemampuan untuk mengendalikan tahap nukleasi, pertumbuhan, dan stabilisasi nanopartikel (Kumar dkk. 2022; Suárez-López dkk. 2022). Selain itu, kinerja nanopartikel perak sebagai antibakteri juga dipengaruhi konsentrasi dari agen pereduksinya (Demchenko dkk. 2020; Iravani dkk. 2014). Konsentrasi agen pereduksi merepresentasikan berapa banyak senyawa yang dapat mereduksi ion Ag^+ dari larutan prekursor menjadi partikel Ag^0 .

Studi ini bertujuan untuk menyelidiki peranan surfaktan *sodium dodecyl sulfate* (SDS) dan konsentrasi agen pereduksi natrium borohidrida (NaBH_4) dalam sintesis nanopar-

tikel perak melalui jalur reduksi. Harapannya, kedua parameter proses ini mampu memperbaiki karakteristik dari nanopartikel yang terbentuk. Selain itu, perbaikan karakteristik tersebut akan diikuti dengan meningkatnya performanya sebagai material antibakteri di mana pertumbuhan bakteri dapat dicegah secara optimal. Melalui pendekatan interdisipliner di mana prinsip kimia, mikrobiologi, dan teknik pembuatan nanomaterial dimanfaatkan bersama, penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan informasi tambahan yang lebih komprehensif tentang potensi nanopartikel perak sebagai agen antibakteri. Dengan demikian, hasil dari penelitian ini dapat memperluas cakupan pengetahuan dan mengarah pada aplikasi praktis yang lebih efektif dalam penanganan infeksi bakteri melalui produk nanopartikel perak.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Material

Bahan utama yang digunakan dalam studi ini meliputi perak nitrat (AgNO_3 , Merck), natrium borohidrida (NaBH_4 , Merck), dan surfaktan *sodium dodecyl sulfate* (SDS, Merck). Bahan pendukung lain yang digunakan adalah *nutrient* agar (Merck), barium klorida (BaCl_2), dan asam sulfat (H_2SO_4 , Merck). Untuk tahap analisis dan uji produk, bakteri *Staphylococcus aureus* (Culti-Loops, ATCC 3568) dan *Escherichia coli* (Culti-Loops, ATCC 8739). Kedua bakteri dikulturasikan di Pusat Studi Rekayasa Proses dan Produk Pangan, Jurusan Teknik Kimia, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung.

2.2 Penentuan *critical micelle concentration* (CMC)

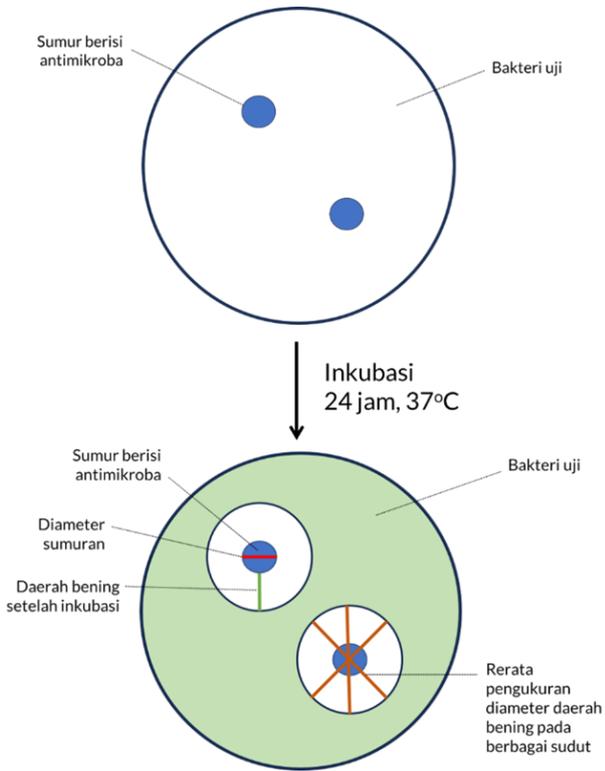
Tahap ini dilakukan dengan mencampurkan surfaktan *sodium dodecyl sulfate* (SDS) dengan larutan prekursor perak nitrat (AgNO_3). Larutan AgNO_3 yang digunakan memiliki konsentrasi 0,5M sebanyak 20 ml. Jumlah surfaktan yang ditambahkan divariasikan pada rentang 0,2–0,9 gram. Campuran dihomogenkan dengan menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu kamar. Setelah campuran homogen, campuran dianalisis turbiditas dan tegangan permukaannya dengan menggunakan instrumen *turbidity meter* (EUTECH Instrument TN-100) dan tensiometer Du-Nouy (KRÜSS Model K6), secara berurutan.

2.3 Sintesis nanopartikel perak dengan metode reduksi kimia

Larutan prekursor AgNO_3 0,05 M sebanyak 20 ml dicampur dengan surfaktan SDS pada kondisi CMCnya. Campuran tersebut diaduk dengan *magnetic stirrer* hingga homogen pada suhu kamar. Setelah itu, agen pereduksi berupa natrium borohidrida (NaBH_4) ditambahkan ke dalam campuran sebanyak 20 ml secara perlahan-lahan dengan menggunakan

TABEL 1. Tempuhan dan variasi penelitian.

Tempuhan	Kode Sampel	Penggunaan Surfaktan	Konsentrasi Agen NaBH_4 , M
1	NP-01S	Dengan surfaktan pada CMC	0,001
2	NP-05S	Dengan surfaktan pada CMC	0,005
3	NP-10S	Dengan surfaktan pada CMC	0,010
4	NP-15S	Dengan surfaktan pada CMC	0,015
5	NP-15T	Tanpa surfaktan	0,015



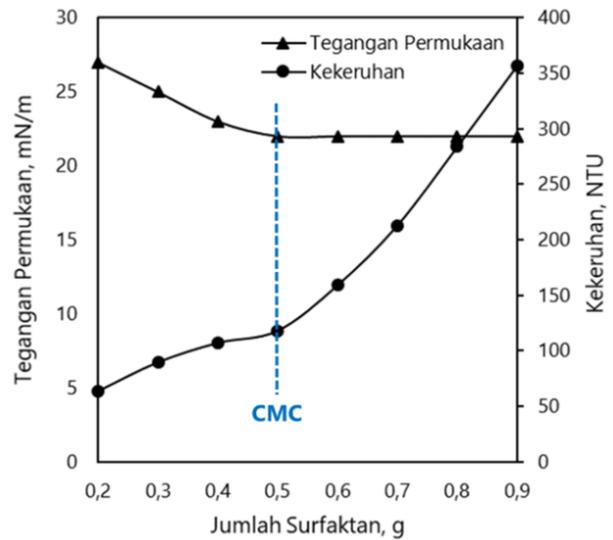
GAMBAR 1. Ilustrasi penentuan diameter zonaambat.

an bantuan buret dan berlangsung selama 5 menit. Konsentrasi NaBH_4 divariasikan pada nilai, 0,001; 0,005; 0,010; dan 0,015M.

Setelah proses reduksi selesai, campuran dianalisis dengan menggunakan instrumen spektrofotometer UV-vis (Mapada UV-6100PC) untuk menguji kestabilan koloid nanopartikel perak, *Particle Size Analyzer* (PSA, Horiba SZ-100Z) untuk menentukan distribusi ukuran nanopartikel perak, dan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS, Shimadzu AA-6300) untuk menguji kandungan ion perak (I) dalam fasa cair. Untuk pengujian kestabilan nanopartikel perak, larutan diencerkan terlebih dahulu 100x dengan *aquadest* sebelum diuji dengan instrumen. Sebagai pembandingan, studi ini juga membandingkan sintesis nanopartikel perak tanpa menggunakan surfaktan di mana konsentrasi NaBH_4 yang digunakan sebesar 0,015M. Tabel 1 menyatakan tempuhan yang dilakukan dalam studi ini.

2.4 Uji antibakteri: Uji aktivitas pertumbuhan bakteri

Seluruh bahan dan alat untuk pengujian antibakteri harus dalam kondisi steril di mana proses sterilisasi berlangsung di autoklaf pada suhu dan tekanan 121°C dan 15 psia, secara berurutan. Dalam studi ini, bakteri uji yang digunakan adalah *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*. Larutan suspensi bakteri sebanyak 30 μl diambil dan dipindahkan ke cawan petri. Media cair *nutrient agar* yang sudah disterilkan kemudian dimasukkan juga ke cawan petri sebanyak 30 ml. Campuran suspensi bakteri uji dan media *nutrient agar* dibuat homogen dan didiamkan hingga menjadi padat. Setelah memadat, media agar tersebut dibuat lubang kecil (sumur) sebagai tempat untuk menampung koloid nanopartikel perak yang telah sintesis. Dalam satu cawan petri, empat buah lubang dibuat dan keempat lubang diatur sedemikian rupa jarak antarlubang supaya tidak berdekatan satu sama lain.



GAMBAR 2. Penentuan CMC antara larutan AgNO_3 0,5M dan surfaktan SDS.

Setiap lubang kemudian diisi dengan sampel koloid nanopartikel sebanyak 40 μl . Lubang pertama diisi oleh sampel koloid nanopartikel perak tanpa pengenceran. Lubang kedua diisi oleh sampel koloid dengan pengenceran 10x. Lubang ketiga diisi oleh sampel koloid dengan pengenceran 100x. Sementara itu, lubang keempat dikosongkan dengan tujuan sebagai pembandingan/pengendali. Setelah itu, media diinkubasi selama 24 jam pada suhu 37°C. Pengukuran diameter zona hambatan yang terbentuk di sekitar lubang dilakukan setelah proses inkubasi selesai dan jangka sorong digunakan untuk menentukan diameter zona hambatan. Penentuan diameter zona hambatan dilakukan dengan menggunakan persamaan (1) (Winastri dkk. 2020).

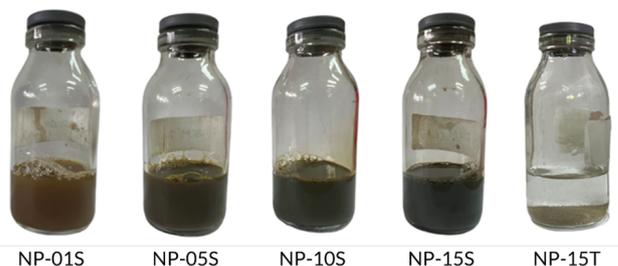
$$D_i = \frac{(D_v - D_c) + (D_h - D_c)}{2} \tag{1}$$

di mana D_i merupakan diameter zona hambatan, D_v merupakan diameter vertikal, D_h merupakan diameter horizontal, dan D_c merupakan diameter lubang/sumuran. Ilustrasi penentuan diameter zona hambatan ini tersaji pada Gambar 1.

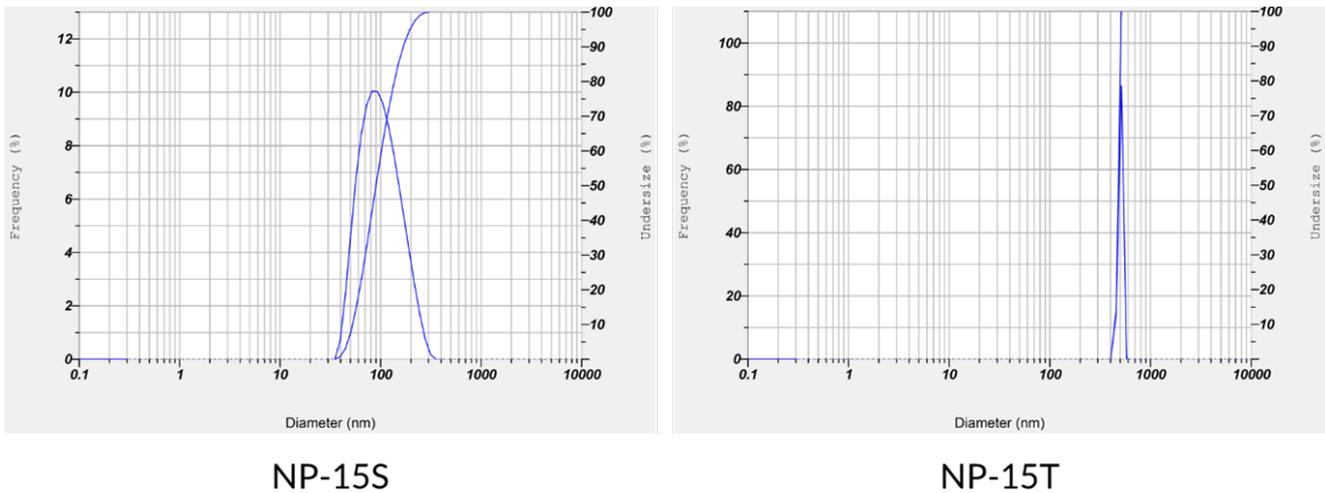
2.5 Analisis konversi ion Ag^+ menjadi Ag^0

Persamaan yang digunakan untuk menghitung konversi ion Ag^+ menjadi partikel Ag^0 disajikan pada persamaan (2).

$$\text{Konversi} = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100\% \tag{2}$$



GAMBAR 3. Visualisasi hasil sintesis nanopartikel perak.



GAMBAR 4. Distribusi diameter nanopartikel perak yang terbentuk.

di mana C_i merupakan konsentrasi ion Ag^+ awal pada larutan prekursor (ppm) dan C_f merupakan konsentrasi ion Ag^+ yang tersisa pada larutan prekursor (ppm)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Penentuan *critical micelle concentration* (CMC)

Critical micelle concentration atau biasa disingkat sebagai CMC dapat didefinisikan sebagai konsentrasi surfaktan di mana misel mulai terbentuk (Deodhar dkk. 2020; Perinelli dkk. 2020). Dalam sintesis partikel khususnya partikel berukuran nanometer, pembentukan misel ini menjadi tahapan yang sangat penting karena mampu meminimalisasi terjadinya penggumpalan antarpartikel (aglomerasi) yang menyebabkan ukuran partikel menjadi lebih besar (Wanta dkk. 2021). Penentuan CMC surfaktan tergantung pada campuran antara larutan prekursor dan surfaktan yang digunakan. Dalam studi ini, penentuan CMC dilakukan terhadap larutan $AgNO_3$ 0,5M dan surfaktan SDS. Hasil percobaannya disajikan pada Gambar 2.

Penentuan CMC untuk studi ini mengikuti prosedur pada studi yang telah dilakukan oleh Wanta dkk. (2021). Berdasarkan pengolahan data yang telah dilakukan, Gambar 2 menunjukkan bahwa kondisi CMC terjadi saat surfaktan SDS di-

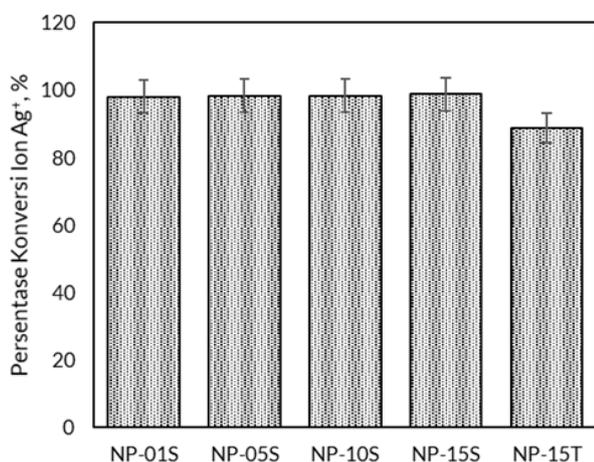
tambahkan sebanyak 0,5 gram ke dalam larutan $AgNO_3$ 0,5M. Hal ini sangat terlihat jelas pada nilai tegangan permukaan di mana penambahan surfaktan SDS lebih dari 0,5 gram sudah tidak memberikan perubahan pada nilai tegangan permukaan di dalam sistem. Dengan demikian, untuk membuat nanopartikel perak pada studi ini, jumlah surfaktan yang ditambahkan sebesar 0,5 gram supaya fenomena aglomerasi dapat dicegah.

Adiatama dkk. (2022) menjelaskan bahwa untuk memperoleh nanopartikel dengan tingkat aglomerasi yang rendah, penambahan surfaktan pada kondisi CMC harus dilakukan. Kurangnya jumlah surfaktan yang ditambahkan ke dalam sistem membuat misel yang terbentuk tidak sempurna. Hal ini menyebabkan masih adanya celah di permukaan partikel yang dapat menjadi tempat menempelnya antarpartikel. Sementara itu, penambahan jumlah surfaktan secara berlebihan juga tidak memberikan dampak positif. Surfaktan yang berlebih akan menghasilkan terbentuknya *double layer* yang memperbesar kemungkinan adanya pengikatan di antara partikel yang telah diselimuti misel/surfaktan.

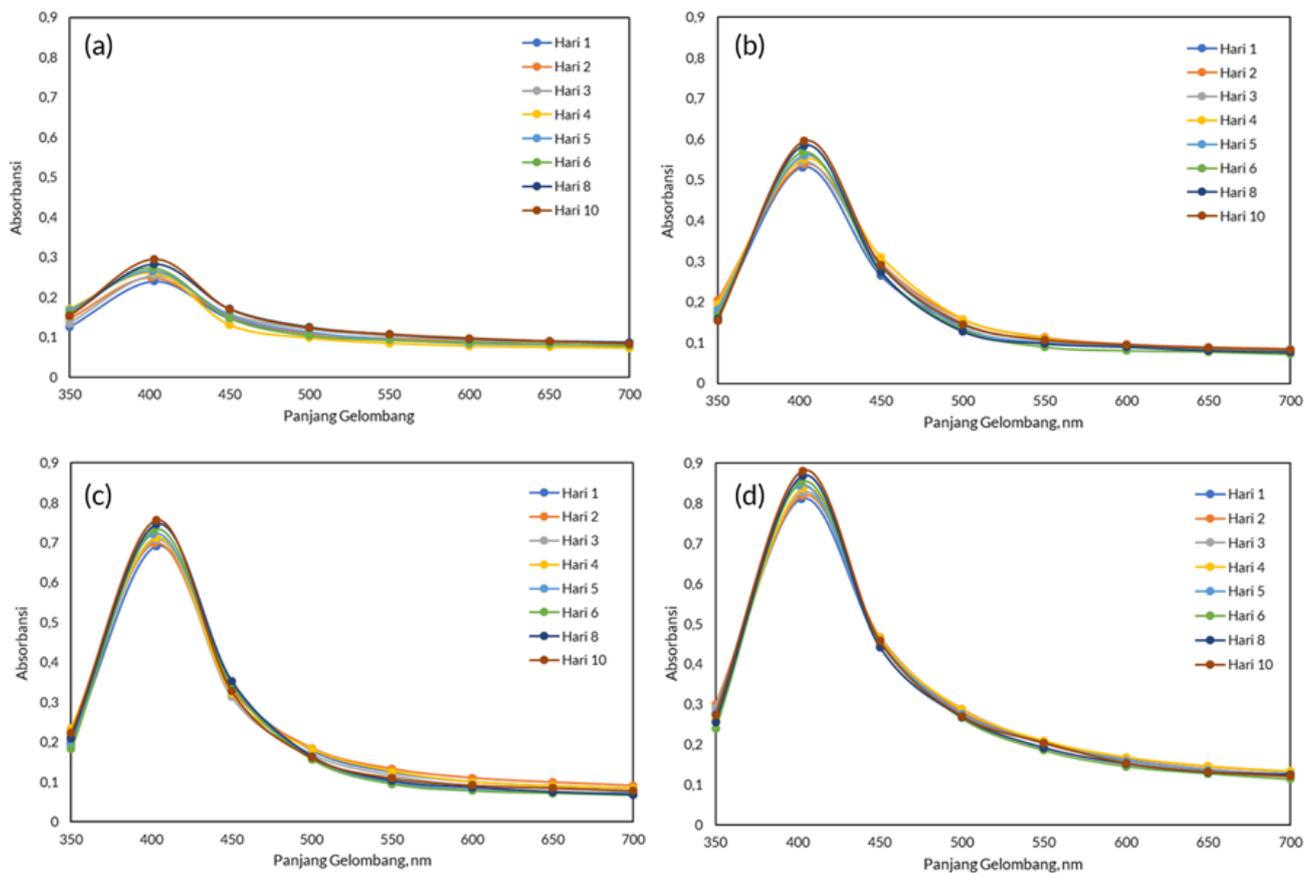
3.2 Sintesis dan karakterisasi nanopartikel perak

Dalam studi ini, nanopartikel perak diproduksi melalui tahap reduksi ion Ag^+ dalam larutan $AgNO_3$ menjadi Ag^0 dengan menggunakan bantuan senyawa $NaBH_4$. Secara visual, pembentukan nanopartikel perak ditandai dengan perubahan warna larutan $AgNO_3$ menjadi cokelat (Zulaicha dkk. 2021). Dalam studi ini, visual yang disajikan pada Gambar 3 membuktikan keberhasilan yang dicapai dalam pembentukan nanopartikel perak tersebut. Gambar 3 memperlihatkan bahwa campuran pada sampel dengan penambahan surfaktan SDS telah berubah menjadi warna cokelat di akhir proses reduksi. Lebih jauh, Gambar 3 juga memperlihatkan bahwa semakin tinggi konsentrasi agen pereduksi yang digunakan, maka semakin tinggi atau pekat intensitas warna larutan. Hal ini mengindikasikan bahwa jumlah nanopartikel perak yang terbentuk semakin banyak seiring dengan penambahan agen pereduksi yang semakin tinggi.

Akan tetapi, kondisi yang berbeda terjadi pada campuran yang dibuat tanpa penambahan surfaktan di mana di akhir tahap sintesis, warna larutan adalah transparan dengan padatan yang mengendap di dasar wadah. Hal ini buk-



GAMBAR 5. Konversi ion Ag^+ menjadi partikel Ag^0 .



GAMBAR 6. Kestabilan nanopartikel perak dengan surfaktan: (a) NP-01S, (b) NP-05S, (c) NP-10S, dan (d) NP-15S.

an menunjukkan bahwa proses reduksi gagal, tetapi proses reduksi ion Ag^+ membentuk partikel Ag^0 dengan ukuran partikel yang besar (bukan koloid). Partikel yang besar ini kemudian mengendap dan berbeda dengan keempat sampel lain di mana partikel yang terbentuk dalam bentuk koloid dan tersebar di dalam fasa cair. Fenomena yang terjadi ini tidak lepas dari adanya pengaruh keberadaan surfaktan sebagai agen pencegah terjadinya aglomerasi.

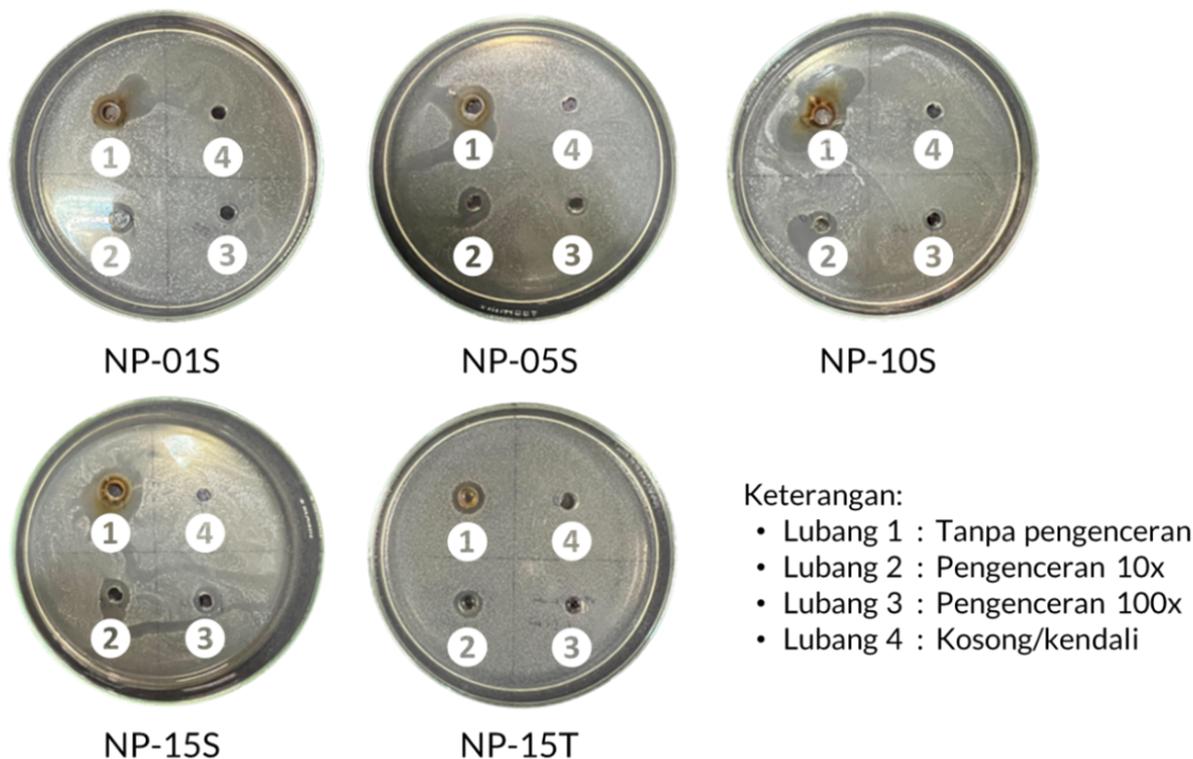
Surfaktan memiliki peranan penting dalam produksi nanopartikel. Surfaktan dapat didefinisikan sebagai agen pelindung permukaan partikel (*surface-protecting reagents*) dan berfungsi untuk menurunkan tegangan permukaan pada setiap partikel yang terdispersi. Penurunan tegangan permu-

kaan ini disebabkan adanya pembentukan misel yang utuh karena penambahan surfaktan pada kondisi CMC. Misel ini akan menyelimuti permukaan partikel dan mencegah adanya penumpukan/penggumpalan partikel yang terbentuk selama proses sintesis berlangsung. Kondisi inilah yang akan menyebabkan fenomena aglomerasi dapat dicegah dan terjadinya perbedaan warna larutan secara visual akibat adanya faktor penambahan dan tanpa surfaktan. Untuk memastikan pengaruh surfaktan terhadap karakterisasi nanopartikel yang terbentuk, sampel NP-15S dan NP-15T dianalisis distribusi ukuran partikel yang terbentuk dengan memanfaatkan instrumen *Particle Size Analyzer* (PSA, Horiba SZ-100Z).

Gambar 4 memperlihatkan bagaimana distribusi ukur-

TABEL 2. Diameter zona hambat pada pengujian nanopartikel perak sebagai material antibakteri.

Bakteri	Kode Sampel	Diameter Zona Hambat, mm			
		Lubang 1	Lubang 2	Lubang 3	Lubang 4
E. coli	NP-01S	12,50	7,00	2,00	0,00
	NP-05S	17,50	8,00	2,00	0,00
	NP-10S	18,75	8,30	3,00	0,00
	NP-15S	19,00	9,00	5,00	0,00
	NP-15T	7,00	5,00	0,00	0,00
S. aureus	NP-01S	17,00	7,30	0,00	0,00
	NP-05S	22,35	8,00	0,00	0,00
	NP-10S	25,60	8,30	1,00	0,00
	NP-15S	27,75	9,60	1,00	0,00
	NP-15T	8,00	6,00	0,00	0,00



GAMBAR 7. Pengujian nanopartikel perak sebagai material antibakteri pada bakteri *Escherichia coli*.

an partikel dari kedua sampel. Gambar tersebut menunjukkan dengan jelas bahwa penggunaan surfaktan pada sampel NP-15S mampu memberikan diameter partikel yang lebih kecil dibandingkan sampel NP-15T (tanpa surfaktan). Akan tetapi, sampel NP-15T mampu membuktikan bahwa diameter partikelnya jauh lebih homogen dibandingkan dengan sampel lainnya. Lebih jauh, diameter dari kedua partikel dianalisis secara kuantitatif. Pengujian terhadap sampel-sampel tersebut menunjukkan bahwa diameter rata-rata sampel NP-15S adalah 101,5 nm sementara diameter rata-rata untuk sampel NP-15T adalah 475,7 nm. Oleh karena itu, studi ini membuktikan bahwa surfaktan berhasil menurunkan ukuran nanopartikel perak yang terbentuk hingga mencapai hampir 1/5 kali.

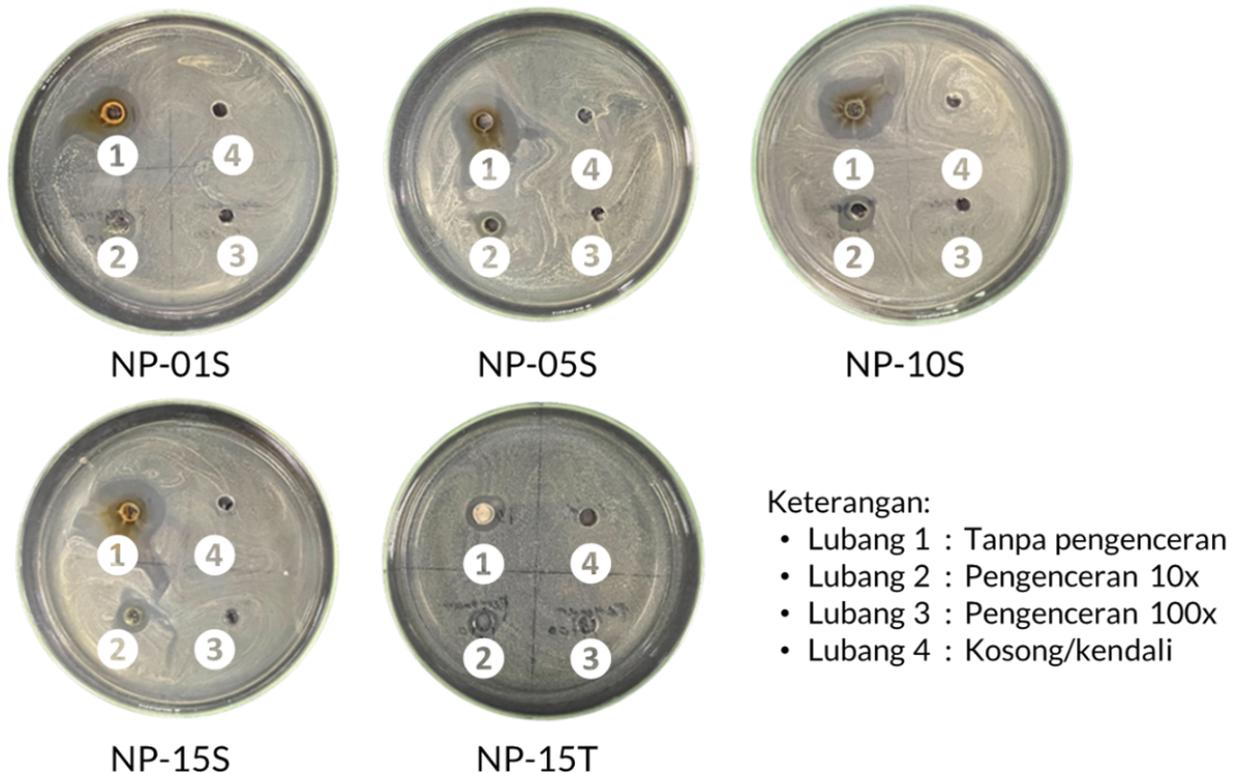
TABEL 3. Kategori kemampuan antibakteri dari sampel nanopartikel perak tanpa pengenceran.

Bakteri	Kode Sampel	Kategori Kemampuan Antibakteri
E. coli	NP-01S	Kuat
	NP-05S	Kuat
	NP-10S	Kuat
	NP-15S	Kuat
	NP-15T	Sedang
S. aureus	NP-01S	Kuat
	NP-05S	Sangat kuat
	NP-10S	Sangat kuat
	NP-15S	Sangat kuat
	NP-15T	Sedang

Studi ini juga menguji keefektifitasan proses reduksi dalam sintesis nanopartikel perak ini melalui mengukur berapa banyak ion Ag^+ yang telah terkonversi menjadi partikel Ag^0 . Pengujian sampel dilakukan melalui proses pengukuran konsentrasi ion Ag^+ dalam fasa cair dengan menggunakan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS, Shimadzu AA-6300). Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 5. Penggunaan surfaktan dalam sintesis nanopartikel ini ternyata tidak hanya memberikan dampak positif pada ukuran nanopartikel yang terbentuk, melainkan juga mampu mereduksi ion Ag^+ hampir sempurna. Sementara itu, sintesis pada sampel NP-15T menunjukkan hasil konversi yang kurang dari sampel dengan surfaktan, di mana hanya 88,63% ion Ag^+ yang dapat tereduksi menjadi nanopartikel perak. Fenomena yang terjadi ini tidak lepas dari adanya faktor ukuran partikel yang terbentuk karena penggunaan surfaktan. Adanya surfaktan dalam sistem akan menghasilkan ukuran partikel yang lebih kecil sehingga luas area terjadinya reduksi ion Ag^+ menjadi Ag^0 semakin meningkat. Akibatnya, nilai konversi pada NP-15T lebih rendah daripada nanopartikel dengan surfaktan.

Karakterisasi lain yang dilakukan pada analisis ini adalah kestabilan koloid nanopartikel perak, di mana pembentukan koloid akan diamati sepanjang waktu pengamatan. Pengujian kestabilan ini hanya difokuskan pada nanopartikel perak yang disintesis dengan menggunakan surfaktan. Proses pengujian dilakukan dengan mengencerkan terlebih dahulu koloid yang terbentuk sehingga koloid yang dikarakterisasi tidak pekat dan membuat nilai absorbansi lebih dari satu. Hasil karakterisasi yang tersaji pada Gambar 6 merupakan hasil analisis terhadap koloid yang telah terencerkan 100x.

Kestabilan dari koloid ini dilihat dari tingkat kekeruhan



GAMBAR 8. Pengujian nanopartikel perak sebagai material antibakteri pada bakteri *Staphylococcus aureus*.

yang koloid yang terbaca pada spektrofotometer UV-vis. Hasil yang disajikan pada Gambar 6 menunjukkan bahwa nilai absorbansi semakin meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi NaBH_4 . Nilai absorbansi yang tinggi ini mengindikasikan bahwa koloid yang terbentuk semakin banyak sehingga fasa cair tersebut akan menjadi semakin keruh. Kondisi yang terbentuk ini semakin menguatkan karakterisasi sebelumnya di mana semakin tinggi agen pereduksi yang ditambahkan, maka semakin banyak ion Ag^+ yang tereduksi menjadi Ag^0 dan terbentuk nanopartikel perak.

Dalam perspektif kestabilan dengan variasi waktu pengujian, keempat grafik pada Gambar 6 memberikan profil yang serupa. Seiring dengan meningkatnya waktu, nilai absorbansi dari keempat produk juga mengalami kenaikan. Hal ini mengindikasikan bahwa nanopartikel perak terus terbentuk sehingga fasa cair juga akan semakin keruh. Fenomena yang terjadi disebabkan karena dalam proses sintesis, agen pereduksi NaBH_4 masih tersisa di dalam sistem dan mereduksi ion Ag^+ . Proses sintesis nanopartikel perak akan berhenti ketika NaBH_4 telah habis (Nur Sholikhah dkk. 2016). Dengan demikian, studi yang dilakukan kali ini menunjukkan bahwa koloid nanopartikel perak yang terbentuk cenderung kurang stabil.

3.3 Nanopartikel perak sebagai material antibakteri

Studi ini juga menguji performa nanopartikel perak yang terbentuk sebagai material antibakteri. Tahap pengujian dilakukan terhadap dua bakteri, yaitu *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*. Pengujian antibakteri ini dilakukan melalui respon terhadap pertumbuhan bakteri uji di mana dapat dilihat dari pembentukan zona hambat di sekitar nano-

partikel perak selama periode inkubasi. Mekanisme spesifik aktivitas antibakteri atau toksisitas AgNP masih belum jelas dan belum dapat dijelaskan secara lengkap. Akan tetapi, beberapa pustaka menjelaskan bahwa AgNP dapat membentuk kompleks dengan nukleosida asam nukleat dari mikroba dengan adanya daya tarik elektrostatis antara sel mikroba bermuatan negatif dan nanopartikel yang bermuatan positif. Karena daya tarik elektrostatis dan afinitas terhadap protein sulfur, perak melekat pada sitoplasma dan dinding sel, dan secara signifikan meningkatkan permeabilitas; menyebabkan gangguan pada selubung bakteri. Segera setelah perak bebas diserap oleh sel, enzim pernafasan akan dinonaktifkan, menyebabkan produksi spesies oksigen reaktif (ROS) dan gangguan pelepasan adenosin trifosfat (ATP) (Bruna dkk. 2021; Breijyeh dkk. 2020).

Hasil pengujian antibakteri secara visual dapat dilihat pada Gambar 7 untuk bakteri *E. coli* dan Gambar 8 untuk bakteri *S. aureus*. Sementara itu, Tabel 2 menyatakan secara kuantitatif terkait zona hambat yang dapat dihasilkan dari nanopartikel perak yang disintesis.

Secara visual, Gambar 7 dan 8 membuktikan bahwa nanopartikel perak yang dihasilkan pada studi berhasil menghambat pertumbuhan bakteri. Kondisi ini terlihat dari terbentuknya daerah hambat atau daerah yang tidak terkontaminasi kedua bakteri pada sekeliling lubang yang diisi oleh nanopartikel perak. Lebih jauh, pengukuran diameter zona hambat pada Tabel 2 mempertegas keberhasilan nanopartikel perak yang terbentuk ini dalam mencegah bakteri tumbuh. Sebagai kendali, lubang 4 mewakili kondisi di mana tidak adanya nanopartikel dan hasil pengujian memang menunjukkan daerah uji tidak mampu menahan pertumbuhan

an bakteri. Kondisi tersebut berbanding terbalik saat lubang atau daerah uji diberikan nanopartikel perak. Bahkan, semakin tinggi konsentrasi nanopartikel perak yang diberikan, semakin besar pula daerah uji yang tidak terkena bakteri.

Hasil pengujian tersebut juga menunjukkan bahwa nanopartikel dengan surfaktan memberikan dampak positif dalam pencegahan pertumbuhan bakteri. Seluruh pengujian memberikan hasil yang serupa di mana sampel yang dibuat dengan surfaktan mampu menciptakan daerah bebas bakteri yang lebih luas dibandingkan sampel tanpa surfaktan. Fenomena yang terjadi ini tidak lepas dari peran surfaktan dalam mencegah terjadi aglomerasi dan membentuk partikel dengan ukuran yang lebih kecil. Ukuran partikel perak yang kecil menyebabkan luas permukaan dari partikel semakin besar. Dengan demikian, kemampuan antibakteri dari nanopartikel perak akan bekerja lebih optimal. Selain itu, faktor perbedaan konsentrasi agen pereduksi NaBH_4 dalam sintesis nanopartikel perak juga memberikan dampak positif dalam pengujian antibakteri karena konsentrasi agen pereduksi yang lebih tinggi mampu menghasilkan nanopartikel perak dengan performa yang lebih baik. Tabel 2 memperlihatkan adanya peningkatan daerah hambat sebesar 1,52–1,63 kali untuk partikel-partikel yang dibuat dengan surfaktan. Penggunaan NaBH_4 yang tinggi menciptakan pembentukan nanopartikel perak yang semakin banyak.

Tabel 2 juga menunjukkan bahwa kinerja dari nanopartikel perak ini juga sangat terpengaruh pada tipe bakteri yang digunakan. Bakteri gram negatif, seperti *E. coli* memiliki resistensi yang lebih baik sehingga mampu melawan sifat antibakteri yang dimiliki oleh nanopartikel perak tersebut. Hal ini dapat diamati dari diameter zona hambat pada *E. coli* lebih kecil daripada *S. aureus* yang tergolong sebagai bakteri gram positif. Bakteri gram negatif memang memiliki lapisan membran yang lebih kompleks di mana lapisan tersebut terdiri dari fosfolipid yang terikat pada bagian dalam membran dan lipopolisakarida yang terikat pada bagian luar membran. Lapisan tersebut tidak dimiliki oleh bakteri gram positif. Oleh karena itu, bakteri gram positif lebih mudah ditembus oleh nanopartikel perak (Breijyeh dkk. 2020; Franco dkk. 2022).

Setiap sampel nanopartikel perak yang disintesis pada studi ini mempunyai kemampuan antibakteri yang berbeda-beda. Tingkat efektivitas dari suatu agen antibakteri dapat dikelompokkan berdasarkan zona hambat yang terbentuk. Winastri dkk. (2020) menguraikan klasifikasi diameter zona hambat tersebut di mana kategori lemah menunjukkan diameter ≤ 5 mm, sedang menunjukkan diameter sebesar 6–10 mm, kuat menunjukkan diameter sebesar 11–20 mm, dan sangat kuat menunjukkan diameter ≥ 21 mm. Oleh karena itu, kemampuan antibakteri dari sampel percobaan tanpa pengenceran dapat dirangkum seperti pada Tabel 3.

4. KESIMPULAN

Studi ini membuktikan bahwa nanopartikel perak sebagai material antibakteri berhasil disintesis melalui jalur reduksi dari ion Ag^+ menjadi Ag^0 dengan menggunakan agen pereduksi NaBH_4 . Penggunaan surfaktan SDS pada CMC terbukti menghasilkan partikel dengan ukuran nanometer seperti yang diharapkan sehingga performanya menjadi jauh lebih optimal. Hal ini dapat dilihat dari pengujian antibakteri yang melibatkan dua bakteri, yaitu *E. coli* dan *S. aureus* di mana

pertumbuhan kedua bakteri dapat dihambat bila dikontakkan dengan nanopartikel perak yang terbentuk dari studi ini. Nanopartikel perak ini pun dikategorikan memiliki kemampuan antibakteri yang kuat hingga sangat kuat untuk kedua bakteri tersebut.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Katolik Parahyangan atas bantuannya, khususnya dalam aspek finansial.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiatama AR, Susanti RF, Astuti W, Petrus HTBM, Wanta KC. 2022. Synthesis and characteristic of nanosilica from geothermal sludge: effect of surfactant. *Metalurgi*. 37(2):73. doi:10.14203/metalurgi.v37i2.637.
- Arif MS, Ulfiya R, Erwin, Panggabean AS. 2021. Synthesis silver nanoparticles using trisodium citrate and development in analysis method. *AIP Conference Proceedings*. volume 2360. AIP Publishing. doi:10.1063/5.0059493.
- Breijyeh Z, Jubeh B, Karaman R. 2020. Resistance of gram-negative bacteria to current antibacterial agents and approaches to resolve it. *Molecules*. 25(6):1340. doi:10.3390/molecules25061340.
- Bruna T, Maldonado-Bravo F, Jara P, Caro N. 2021. Silver nanoparticles and their antibacterial applications. *International Journal of Molecular Sciences*. 22(13):7202. doi:10.3390/ijms22137202.
- Calderón-Jiménez B, Montoro Bustos AR, Pereira Reyes R, Paniagua SA, Vega-Baudrit JR. 2022. Novel pathway for the sonochemical synthesis of silver nanoparticles with near-spherical shape and high stability in aqueous media. *Scientific Reports*. 12(1). doi:10.1038/s41598-022-04921-9.
- Demchenko V, Riabov S, Kobylinskiy S, Goncharenko L, Rybalchenko N, Kruk A, Moskalenko O, Shut M. 2020. Effect of the type of reducing agents of silver ions in interpolyelectrolyte-metal complexes on the structure, morphology and properties of silver-containing nanocomposites. *Scientific Reports*. 10(1). doi:10.1038/s41598-020-64079-0.
- Deodhar S, Rohilla P, Manivannan M, Thampi SP, Basavaraj MG. 2020. Robust method to determine critical micelle concentration via spreading oil drops on surfactant solutions. *Langmuir*. 36(28):8100–8110. doi:10.1021/acs.langmuir.0c00908.
- Franco D, Calabrese G, Guglielmino SPP, Conoci S. 2022. Metal-based nanoparticles: Antibacterial mechanisms and biomedical application. *Microorganisms*. 10(9):1778. doi:10.3390/microorganisms10091778.
- Iravani S, Korbekandi H, Mirmohammadi SV, Mekanik H. 2014. Plants in nanoparticle synthesis. *Reviews in Advanced Sciences and Engineering*. 3(3):261–274. doi:10.1166/rase.2014.1069.
- Jamkhande PG, Ghule NW, Bamer AH, Kalaskar MG. 2019. Metal nanoparticles synthesis: An overview on methods of preparation, advantages and disadvantages, and applications. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*. 53:101174. doi:10.1016/j.jddst.2019.101174.

- Kędziora A, Wieczorek R, Speruda M, Matolínová I, Gószczyński TM, Litwin I, Matolín V, Bugla-Płoskońska G. 2021. Comparison of antibacterial mode of action of silver ions and silver nanoformulations with different physico-chemical properties: Experimental and computational studies. *Frontiers in Microbiology*. 12. doi:[10.3389/fmicb.2021.659614](https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.659614).
- Kumar S, Mehta SK, Thakur V, Vashisht A, Singh K. 2022. Exploring the surfactant structure efficacy in controlling growth and stability of HgS nanoparticles in aqueous medium. *Chemical Physics Impact*. 4:100070. doi:[10.1016/j.chphi.2022.100070](https://doi.org/10.1016/j.chphi.2022.100070).
- Mikhailova EO. 2020. Silver nanoparticles: Mechanism of action and probable bio-application. *Journal of Functional Biomaterials*. 11(4):84. doi:[10.3390/jfb11040084](https://doi.org/10.3390/jfb11040084).
- More PR, Pandit S, Filippis AD, Franci G, Mijakovic I, Galdiero M. 2023. Silver nanoparticles: Bactericidal and mechanistic approach against drug resistant pathogens. *Microorganisms*. 11(2):369. doi:[10.3390/microorganisms11020369](https://doi.org/10.3390/microorganisms11020369).
- Morsy SMI. 2014. Role of surfactants in nanotechnology and their applications. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci*. 3(5):237–260. <https://www.ijcmas.com/vol-3-5/SalwaM.I.Morsy.pdf>.
- Niu Y, Omurzak E, Cai R, Syrgakbek kyzy D, Zhasnakunov Z, Satyvaldiev A, Palmer RE. 2022. Eco-friendly synthesis of silver nanoparticles using pulsed plasma in liquid: effect of surfactants. *Surfaces*. 5(1):202–208. doi:[10.3390/surfaces5010013](https://doi.org/10.3390/surfaces5010013).
- Nur Sholikhah U, Pujiyanto A, Lestari E, Sarmini E, Widyaningrum T, Kadarisman K, Triyanto T, Puspitasari P. 2016. Stability of silver nanoparticles as imaging materials. *The Journal of Pure and Applied Chemistry Research*. 5(3):173–177. doi:[10.21776/ub.jpacr.2016.005.03.295](https://doi.org/10.21776/ub.jpacr.2016.005.03.295).
- Perinelli DR, Cespi M, Lorusso N, Palmieri GF, Bonacucina G, Blasi P. 2020. Surfactant self-assembling and critical micelle concentration: One approach fits all? *Langmuir*. 36(21):5745–5753. doi:[10.1021/acs.langmuir.0c00420](https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.0c00420).
- Sirajudin A, Rahmanisa S. 2016. Nanopartikel perak sebagai penatalaksanaan penyakit infeksi saluran kemih silver. *Majority*. volume 5. p. 1–5. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:194854385>.
- Suárez-López R, Puentes VF, Bastús NG, Hervés C, Jaime C. 2022. Nucleation and growth of gold nanoparticles in the presence of different surfactants. A dissipative particle dynamics study. *Scientific Reports*. 12(1). doi:[10.1038/s41598-022-18155-2](https://doi.org/10.1038/s41598-022-18155-2).
- Wanta KC, Lim S, Susanti RF, Gemilar GP, Astuti W, Petrus HTBM. 2021. Effect of surfactant type on synthesis and characteristics of nanonickel hydroxide. *Jurnal Rekayasa Proses*. 15(2):217. doi:[10.22146/jrekpros.69723](https://doi.org/10.22146/jrekpros.69723).
- Winastri NLAP, Muliastri H, Hidayati E. 2020. Aktivitas antibakteri air perasan dan rebusan daun calincing (*Oxalis corniculata* L.) terhadap *Streptococcus mutans*. *Berita Biologi*. 19(2). doi:[10.14203/beritabiologi.v19i2.3786](https://doi.org/10.14203/beritabiologi.v19i2.3786).
- Zhang Q, Hu Y, Masterson CM, Jang W, Xiao Z, Bohloul A, Garcia-Rojas D, Puppala HL, Bennett G, Colvin VL. 2022. When function is biological: Discerning how silver nanoparticle structure dictates antimicrobial activity. *iScience*. 25(7):104475. doi:[10.1016/j.isci.2022.104475](https://doi.org/10.1016/j.isci.2022.104475).
- Zulaicha AS, Saputra IS, Sari IP, Ghifari MA, Yulizar Y, Permana YN, Sudirman S. 2021. Green synthesis nanopartikel perak (AgNPs) menggunakan bioreduktor alami ekstrak daun ilalang (*Imperata cylindrica* L). *Rafflesia Journal of Natural and Applied Sciences*. 1(1):11–19. doi:[10.33369/rjn.v1i1.15588](https://doi.org/10.33369/rjn.v1i1.15588).