

PENGARUH KONSENTRASI NANOPARTIKEL PERAK TERHADAP DAYA HAMBAT PERTUMBUHAN BAKTERI *CLOSTRIDIUM BOTULINUM* PENYEBAB BOTULISME

THE EFFECT OF SILVER NANOPARTICLES CONCENTRATION ON THE INHIBITION OF THE GROWTH OF THE BACTERIA *CLOSTRIDIUM BOTULINUM* CAUSES BOTULISM

Anissa Dwi Arista Ningsih, Departemen Pendidikan Fisika, Universitas Negeri Yogyakarta, Indonesia

Suparno*, Departemen Pendidikan Fisika, Universitas Negeri Yogyakarta, Indonesia

*e-mail: suparno_mipa@uny.ac.id (corresponding author)

Abstrak. Artikel ini memaparkan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik nanopartikel perak dan pengaruh konsentrasinya dalam menghambat pertumbuhan bakteri *Clostridium botulinum*. Nanopartikel perak dibuat melalui proses elektrolisis dengan tegangan 24 volt dan waktu 100 menit, dengan lempengan AgBr sebagai elektrodanya. Dari proses tersebut dihasilkan nanopartikel perak yang berkonsentrasi 28 ppm. Konsentrasi nanopartikel yang telah dihasilkan kemudian divariasikan menjadi 30 ppm, 40 ppm, 50 ppm, 60 ppm, dan 70 ppm. Kelima sampel tersebut selanjutnya diuji karakterisasi menggunakan Spektrofotometer UV-Vis, AAS, dan PSA serta uji kemampuan antibakteri menggunakan metode difusi sumuran dengan kontrol positif ciprofloxacin. Hasil karakterisasi menunjukkan sampel hanya mengandung nanopartikel perak dan partikel berukuran 98,1 nm. Hasil uji aplikasi antibakteri menunjukkan semakin tinggi konsentrasi sampel, semakin besar diameter zona bening yang terbentuk. Ukuran diameter zona bening yang terbentuk untuk masing-masing sampel konsentrasi 30 ppm, 40 ppm, 50 ppm, 60 ppm, dan 70 ppm berturut-turut yaitu, 6,5 mm, 8,3 mm, 9,1 mm, 9,9 mm, 10,3 mm, dan untuk Ciprofloxacin 27,7 mm. Semua sampel uji mampu mempertahankan kemampuan antibakterinya hingga lebih dari 72 jam.

Kata Kunci: *Nanopartikel perak, elektrolisis, clostridium botulinum, difusi sumuran*

Abstract. This article presents research aimed at determining the characteristics of silver nanoparticles and their concentration-dependent inhibitory effects on the growth of *Clostridium botulinum* bacteria. Silver nanoparticles were synthesized through electrolysis at 24 volts for 100 minutes using AgBr plates as electrodes, resulting in silver nanoparticles with a concentration of 28 ppm. The concentration of the produced nanoparticles was then varied to 30 ppm, 40 ppm, 50 ppm, 60 ppm, and 70 ppm. These five samples were further characterized using UV-Vis Spectrophotometer, AAS, and PSA, and their antibacterial ability was tested using the well diffusion method with Ciprofloxacin as a positive control. Characterization results indicated that the samples only contained silver nanoparticles with particle sizes of 98.1 nm. The antibacterial application test results revealed that the diameter of the clear zones increased with higher sample concentrations. The clear zone diameters for each concentration sample (30 ppm, 40 ppm, 50 ppm, 60 ppm, and 70 ppm) were 6.5 mm, 8.3 mm, 9.1 mm, 9.9

mm, and 10.3 mm, respectively, compared to 27.7 mm for Ciprofloxacin. All tested samples retained their antibacterial activity for more than 72 hours.

Keyword: Silver nanoparticles, electrolysis, concentration, clostridium botulinum, well diffusion.

PENDAHULUAN

Bakteri *Clostridium botulinum* merupakan bakteri patogen berbahaya yang memproduksi neurotoksin botulinum. Toksin ini ketika menginfeksi manusia dapat menyebabkan botulisme. Botulisme dibagi menjadi tiga jenis berdasarkan cara penginfeksiannya yaitu botulisme makanan, botulisme luka, dan botulisme inhalasi (Walensky et al., 2021). Infeksi oleh toksin botulinum dapat menghambat pelepasan neurotransmitter asetilkolin di antara ujung saraf dan otot yang menyebabkan kelumpuhan (Cenciarelli et al., 2019). Penyakit botulisme dapat ditandai dengan tenggorokan kaku, mata berkunang-kunang, dan kejang-kejang (Rorong & Wilar, 2020). Gejala ini biasanya muncul dalam waktu 12 hingga 36 jam setelah terpapar toksin (Wicaksana & Rachman, 2018).

Penyakit botulisme menjadi ancaman global yang serius. Sebuah penelitian di Armenia yang dilakukan selama tahun 2007 sampai 2017, menemukan 51 kasus botulisme dengan rerata usia penderita adalah 26 tahun (Gilberta, 2022). Santoso tahun 2020 menyatakan bahwa tingkat kematian dari penyakit botulisme di negara Indonesia juga cukup besar, yaitu sekitar 65 hingga 70 persen. Oleh karena itu, penyakit botulisme harus segera dicegah atau diatasi. Salah satu caranya dengan menghambat pertumbuhan bakteri *Clostridium botulinum* menggunakan antibakteri. Namun, antibakteri kimiawi jika digunakan secara berlebihan dan terus menerus akan mengakibatkan resistensi pada bakteri, sehingga diperlukan antibakteri yang bersifat fisis agar tidak menyebabkan resistensi pada bakteri.

Antibakteri fisis yang dapat digunakan dalam menghambat bakteri tanpa menimbulkan resistensi yaitu nanopartikel perak. Nanopartikel perak merupakan salah satu aplikasi nanoteknologi yang mengembangkan materi dalam skala 1-100 nm. Dalam skala nano tersebut, perak memiliki luas permukaan jenis yang lebih besar sehingga akan lebih reaktif dibandingkan dengan partikel perak yang berukuran makro (Dwistika & Suparno, 2018). Luas permukaan nanopartikel tersebut, mendukung interaksi yang lebih efektif antara perak dengan permukaan mikroorganisme (Nalawati et al., 2021). Interaksi ini dapat mengganggu aktivitas biologis bakteri dengan merusak integritas membran sel bakteri (Handoko et al., 2022).

Produksi nanopartikel perak dapat dilakukan dengan dua metode utama yaitu *bottom-up* dan *top-down*. Dalam penelitian ini nanopartikel perak diproduksi menggunakan metode *top-down* yaitu elektrolisis. Metode ini dilakukan dengan menguraikan atom-atom pada batang perak menjadi ion untuk mendapatkan nanopartikel perak ionik dalam larutan (Latumakulita & Suparno, 2022). Proses ini melibatkan batang lempengan perak AgBr sebagai elektroda positif dan negatif. Metode elektrolisis ini akan menghasilkan nanopartikel perak yang bermuatan positif (Ag^+) (Palupi & Suparno, 2020). Kelebihan dari penggunaan metode ini adalah kontaminasi nanopartikel perak oleh material lain dapat diminimalisir.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka peneliti melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi nanopartikel perak dalam menghambat pertumbuhan bakteri *Clostridium botulinum*. Konsentrasi nanopartikel perak yang digunakan yaitu 30 ppm, 40 ppm, 50 ppm, 60 ppm, dan 70 ppm. Disamping itu juga, dilaporkan pengaruh waktu pengamatan terhadap diameter zona bening untuk masing-masing konsentrasi.

METODE

Penelitian ini dilakukan di beberapa tempat, yaitu Laboratorium Fisika Koloid, Laboratorium Mikrobiologi, dan Laboratorium Terpadu IDB, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan, Universitas Negeri Yogyakarta. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen. Eksperimen dilakukan melalui tiga tahap, yaitu tahap produksi, tahap karakterisasi, dan tahap aplikasi. Variabel penelitian yang digunakan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi nanopartikel perak dan lama waktu pengamatan terhadap daya hambat pertumbuhan bakteri *Clostridium botulinum*, meliputi variabel bebas konsentrasi nanopartikel perak dan lama waktu pengamatan, variabel terikat diameter zona bening, dan variabel kontrol, yaitu suhu, isolat bakteri *Clostridium botulinum*, media pertumbuhan bakteri, diameter lubang sumuran, dan lama pengujian.

A. Tahap Produksi

Produksi nanopartikel perak dilakukan melalui proses elektrolisis. Proses ini melibatkan dua buah lempengan AgBr sebagai elektroda yang dicelupkan ke dalam 500 ml aquades dan dialiri tegangan 24 volt selama 100 menit. Selama proses elektrolisis, setiap 10 menit sekali elektroda dibersihkan menggunakan *carbon cleaner* dan alkohol 96%, kemudian dibilas menggunakan akuades. Bersamaan dengan itu, konsentrasi dan konduktivitas listrik nanopartikel perak diukur menggunakan TDS/EC meter. Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui perubahan konsentrasi dan konduktivitas larutan seiring dengan penambahan waktu elektrolisis. Konsentrasi akhir larutan nanopartikel perak yang dihasilkan yaitu 28 ppm dan konduktivitas 56 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Larutan kemudian dipanaskan dengan suhu stabil 65 °C dari 400 ml larutan stok menjadi 160 ml untuk mendapatkan konsentrasi 70 ppm. Konsentrasi 70 ppm yang dihasilkan kemudian divariasikan menjadi 5 variasi konsentrasi, yaitu 30 ppm, 40 ppm, 50 ppm, 60 ppm, dan 70 ppm. Sampel nanopartikel yang telah divariasikan kemudian disentrifugasi dengan kecepatan 4000 rpm dalam waktu 3 x 10 menit. Setelah itu disaring menggunakan *nylon syringe filter pore 0,22 μm diameter 13 mm*. Proses ini dilakukan untuk menghilangkan kontaminan yang mungkin masuk ke dalam sampel selama proses produksi sampel.

B. Tahap Karakterisasi

Karakterisasi nanopartikel perak yang dilakukan, yaitu:

- a. Spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu, UV-3600i Plus) dilakukan untuk mengidentifikasi kandungan nanopartikel perak yang terkandung dalam larutan sampel.
- b. AAS (Shimadzu AA-7000) dilakukan untuk menganalisis konsentrasi nanopartikel perak di dalam larutan sampel.
- c. PSA (Microtrac Nanotract Wave II) dilakukan untuk mengetahui distribusi ukuran nanopartikel perak dalam larutan sampel dengan teknik *Dynamic Light Scattering* (DLS).

C. Tahap Aplikasi

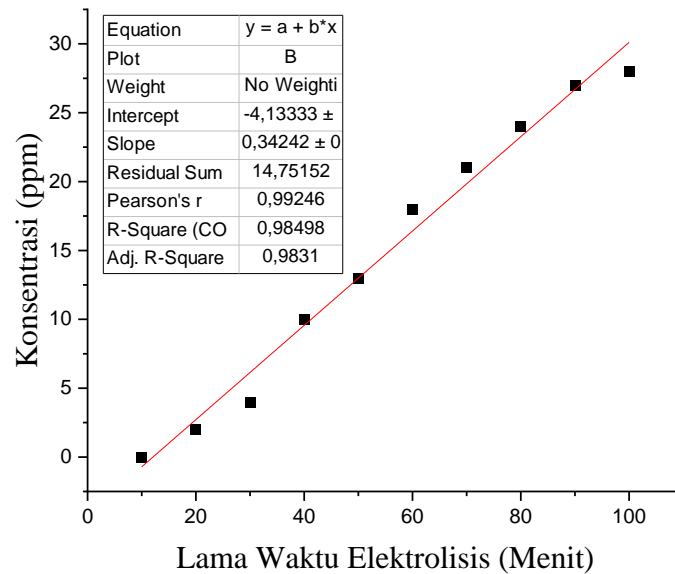
Tahap aplikasi dilakukan dengan pengujian sampel nanopartikel perak dalam menghambat bakteri *Clostridium botulinum* menggunakan metode difusi sumuran. Pengujian ini melibatkan kontrol positif ciprofloxacin dan kontrol negatif akuades. Metode sumuran dilakukan dengan mengamati dan mengukur diameter zona bening yang terbentuk di sekitar lubang sumuran masing-masing konsentrasi sampel dan kontrol pembanding. Pengukuran dilakukan setiap 3 jam sekali selama 72 jam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

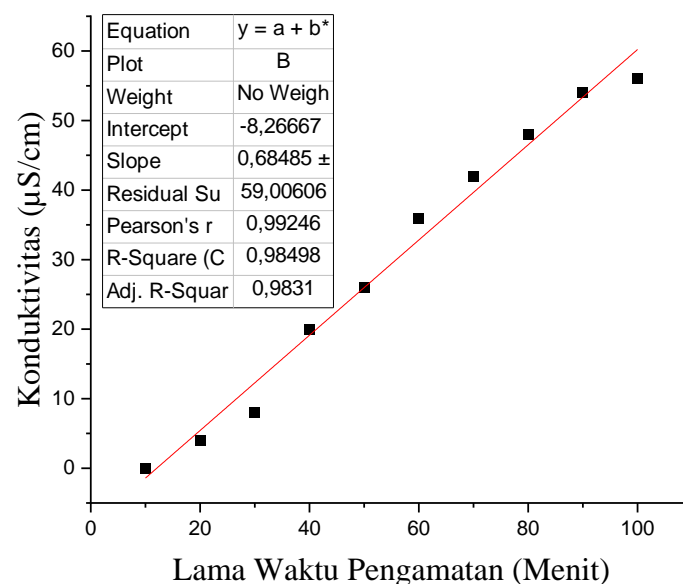
Hasil

A. Tahap Produksi

Produksi nanopartikel perak dilakukan menggunakan metode elektrolisis. Elektrolisis dilakukan selama 100 menit. penambahan waktu elektrolisis dapat meningkatkan konsentrasi dan konduktivitas larutan sampel nanopartikel perak. Hubungan antara lama waktu elektrolisis dengan konsentrasi nanopartikel perak ditunjukkan pada Gambar 1. Sedangkan, hubungan lama waktu elektrolisis dengan konduktivitas nanopartikel perak ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Hubungan Lama Waktu Elektrolisis terhadap Konsentrasi Nanopartikel Perak.



Gambar 2. Hubungan Lama Waktu Elektrolisis terhadap Konduktivitas Larutan Nanopartikel Perak.

Proses produksi nanopartikel perak menghasilkan lima variasi konsentrasi nanopartikel perak. Konsentrasi yang dihasilkan yaitu 30 ppm, 40 ppm, 50 ppm, 60 ppm, dan 70 ppm. Perbedaan fisik antara kelima variasi tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.

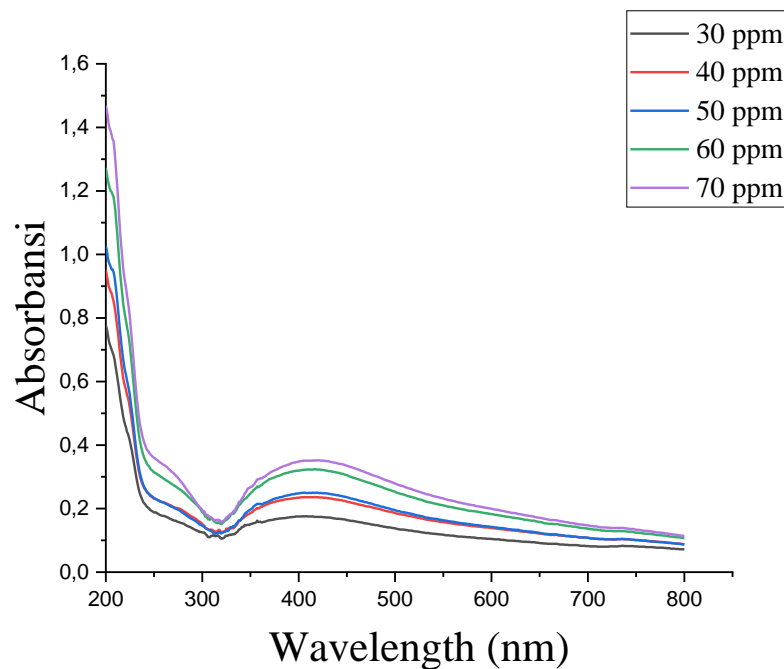


Gambar 3. Hasil Akhir Sampel Variasi Konsentrasi Nanopartikel Perak.

B. Tahap Karakterisasi

1. Spektrofotometer UV-Vis

Pengujian UV-Vis digunakan untuk mengidentifikasi kandungan nanopartikel perak dalam larutan sampel. Pengujian UV-Vis dilakukan pada rentang panjang gelombang 200 nm hingga 800 nm. Hasil pengujian UV-Vis nanopartikel perak ditunjukkan pada Gambar 4 dan Tabel 1.



Gambar 4. Hasil Uji Spektrofotometer UV-Vis.

Tabel 1. Data Hasil Uji Spektrofotometer UV-Vis

Konsentrasi (ppm)	Wavelength (nm)	Absorbansi (a.u.)
30	405	0,176
40	417	0,237
50	417	0,250
60	417	0,324
70	419	0,352

2. AAS

Pengujian AAS dilakukan untuk mengetahui konsentrasi nanopartikel perak dalam larutan sampel. Hasil konsentrasi nanopartikel perak yang terukur menggunakan AAS kemudian dibandingkan dengan pengukuran konsentrasi larutan menggunakan TDS meter. Perbandingan hasil pengukuran ini ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Konsentrasi Terukur TDS dan Nilai Konsentrasi Terukur AAS

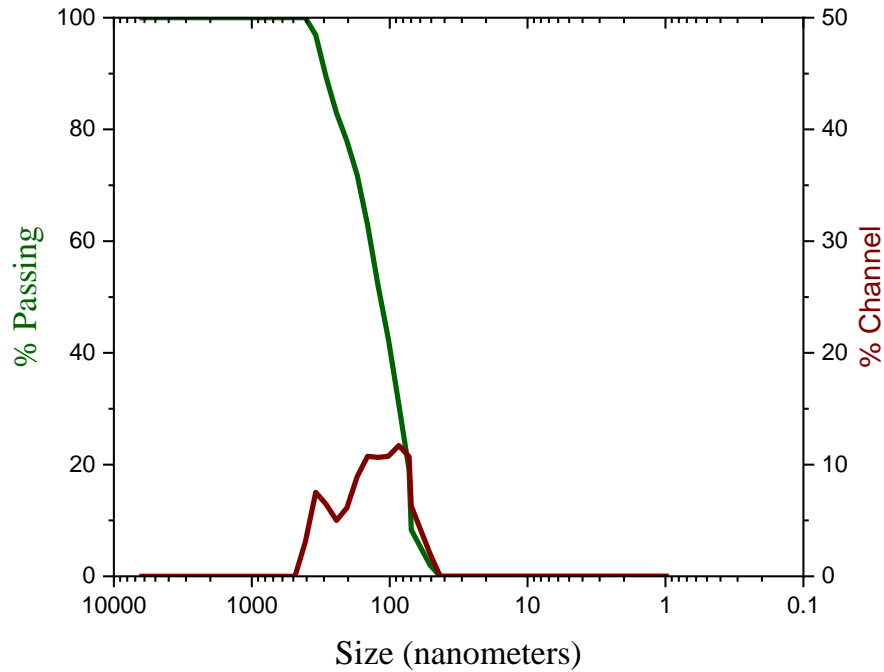
Konsentrasi Terukur TDS (ppm)	Konsentrasi Terukur AAS (ppm)
30	43,314
40	55,153
50	65,997
60	81,376
70	87,696

3. PSA

Pengujian PSA dilakukan pada larutan sampel nanopartikel perak yang berkonsentrasi 30 ppm. Hasil uji PSA pada nanopartikel perak ditunjukkan pada Tabel 3 dan Gambar 5.

Tabel 3. Hasil Uji Ukuran Partikel Menggunakan PSA

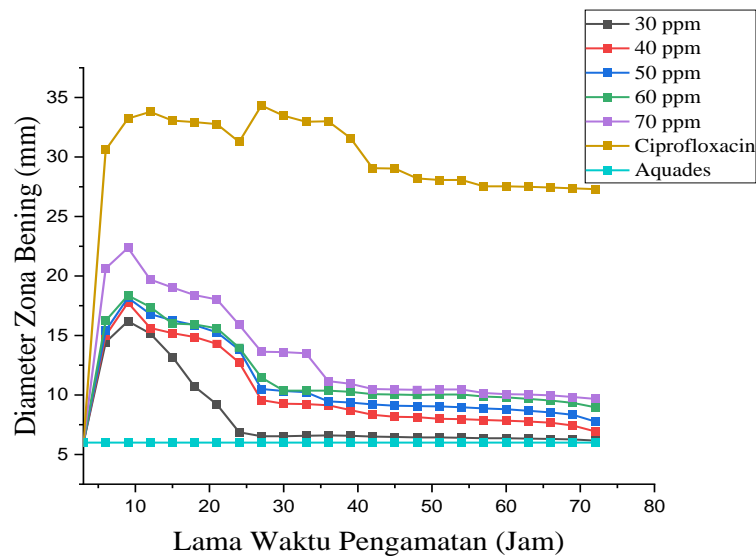
Peaks Summary		
Diameter (nm)	Vol%	Width
286,2	22,1	108,6
98,1	77,9	85,8



Gambar 5. Hasil Uji PSA Nanopartikel Perak.

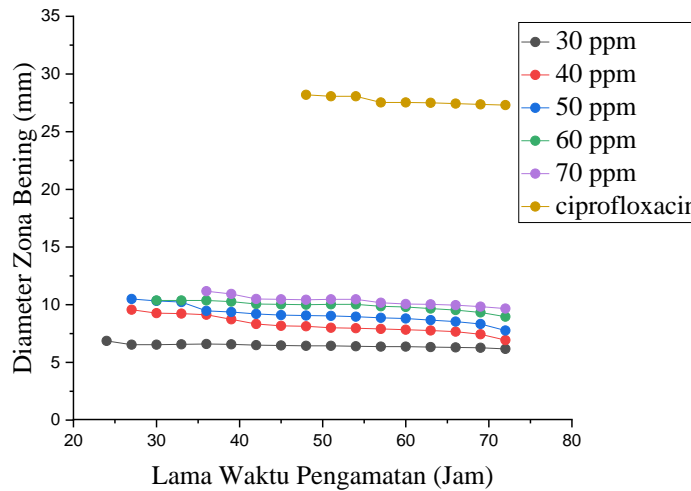
C. Tahap Aplikasi

Uji aplikasi nanopartikel perak sebagai antibakteri dilakukan menggunakan metode difusi sumuran. data yang ditampilkan berupa grafik hubungan lama waktu pengamatan terhadap diameter zona bening yang terbentuk untuk masing-masing sampel nanopartikel perak, kontrol positif ciprofloxacin, dan kontrol negative akuades. Data hasil pengujian ini ditampilkan pada Gambar 6.

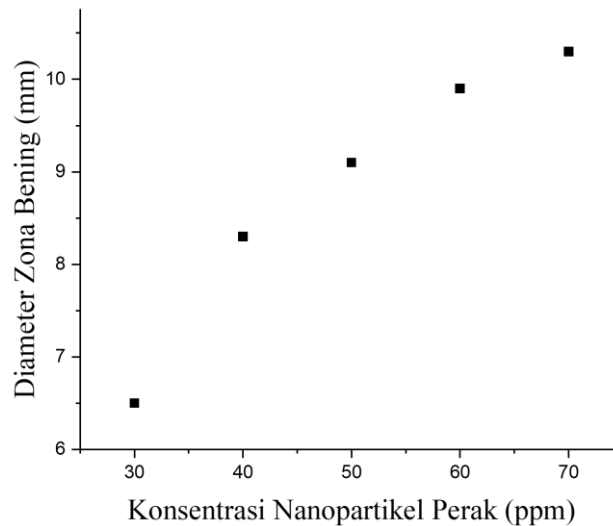


Gambar 6. Hubungan Lama Waktu Pengamatan terhadap Diameter Zona Bening.

Berdasarkan Gambar 6, dapat diketahui fase stasioner pertumbuhan bakteri yang digunakan untuk membandingkan kemampuan antibakteri setiap sampel. Fase tersebut ditunjukkan pada Gambar 7 dan perbandingan kemampuan masing-masing sampel ditunjukkan oleh Gambar 8.



Gambar 7. Fase Stasioner setiap Sampel Nanopartikel Perak dan Ciprofloxacin.



Gambar 8. Hubungan Konsentrasi Nanopartikel Perak terhadap Diameter Zona Bening.

Pembahasan

A. Tahap Produksi

Produksi nanopartikel perak dilakukan menggunakan metode elektrolisis. Proses elektrolisis melibatkan dua buah elektroda berupa lempengan AgBr. Melalui proses elektrolisis, elektroda AgBr akan terurai menjadi Ag^+ dan Br^- . Unsur bromin (Br^-) merupakan unsur yang mudah menguap pada suhu kamar (Artika & Zainul, 2018). Oleh karena itu, dari proses elektrolisis hanya dihasilkan larutan nanopartikel perak yang bermuatan positif yaitu Ag^+ . Lama waktu elektrolisis dapat meningkatkan konsentrasi dan konduktivitas nanopartikel yang dihasilkan.

Gambar 1 menunjukkan kenaikan nilai konsentrasi nanopartikel perak cenderung linier seiring dengan bertambahnya waktu elektrolisis. Hal tersebut terjadi karena dengan bertambahnya waktu menambah pula lama proses elektrolisis yang berlangsung, sehingga semakin banyak ion Ag^+ yang dihasilkan. Gambar 2 menunjukkan kenaikan konduktivitas listrik nanopartikel perak yang cenderung linier seiring dengan bertambahnya waktu elektrolisis. Hasil ini juga sesuai dengan nilai konsentrasi larutan

nanopartikel perak yang dihasilkan. Peningkatan nilai konduktivitas listrik larutan nanopartikel perak disebabkan oleh bertambahnya ion Ag^+ yang dihasilkan seiring dengan bertambahnya waktu elektrolisis. Konduktivitas listrik ini menunjukkan sifat ionik dari larutan nanopartikel perak yang dihasilkan dengan mendeteksi muatan dalam larutan tersebut.

Hasil variasi konsentrasi larutan nanopartikel perak dapat diamati pada Gambar 3. Secara fisik, variasi konsentrasi nanopartikel perak berpengaruh pada warna larutan nanopartikel perak. Semakin tinggi konsentrasi nanopartikel perak, maka warna larutan akan semakin pekat. Perbedaan warna untuk setiap konsentrasi dapat dilihat pada Gambar 3. Pada Gambar tersebut, terlihat warna larutan pada konsentrasi 30 ppm kuning jernih, kemudian semakin tinggi konsentrasinya warna kuning menjadi semakin pekat bahkan pada konsentrasi 70 ppm, warna larutan menjadi kuning kecoklatan.

B. Tahap Karakterisasi

1. Hasil Uji Spektrofotometer UV-Vis

Gambar 4 dan Tabel 1 menunjukkan bahwa kelima sampel variasi konsentrasi nanopartikel perak memiliki satu puncak absorbansi pada rentang panjang gelombang 405 nm - 419 nm. Pada konsentrasi 30 ppm puncak absorbansi terjadi pada panjang gelombang 405 nm dengan absorbansi 0,176. Pada konsentrasi 40 ppm, 50 ppm, dan 60 ppm, puncak absorbansi terjadi pada panjang gelombang 417 nm dengan masing-masing nilai absorbansi 0,237; 0,250; dan 0,324. Pada konsentrasi 70 ppm puncak absorbansi terjadi pada panjang gelombang 419 nm dengan nilai absorbansi 0,352. Hasil tersebut menunjukkan bahwa larutan sampel mengandung nanopartikel perak karena memiliki puncak serapan pada panjang gelombang yang khas untuk nanopartikel perak yaitu sekitar 400 nm sampai 450 nm (Rekso & Sudradjat, 2018). Hal ini juga membuktikan bahwa dalam larutan sampel yang dihasilkan melalui proses elektrolisis AgBr tidak terkontaminasi oleh unsur lain. Sedangkan, atom bromin tidak terdeteksi spektrofotometer UV-Vis karena sudah menguap di suhu kamar.

Dari grafik uji UV-Vis yang telah diperoleh, dapat diketahui pula pengaruh konsentrasi sampel nanopartikel perak terhadap nilai puncak absorbansi. Semakin tinggi konsentrasi nanopartikel perak yang diuji, maka semakin tinggi pula nilai puncak absorbansi yang terjadi. Hal ini sesuai dengan teori bahwa nilai absorbansi berbanding lurus dengan konsentrasi larutan yang dikarakterisasi (Due et al., 2019). Dengan demikian, nilai puncak absorbansi pada sampel nanopartikel perak konsentrasi 30 ppm memiliki puncak absorbansi terendah yaitu 0,176, sedangkan nanopartikel perak konsentrasi 70 ppm memiliki nilai puncak absorbansi tertinggi yaitu 0,352.

2. Hasil Uji AAS

Berdasarkan Tabel 2 diketahui bahwa nilai konsentrasi dari hasil uji AAS lebih besar dibandingkan dengan nilai konsentrasi yang terukur menggunakan TDS. Perbedaan ini boleh jadi disebabkan oleh perbedaan sifat dasar kedua metode tersebut dan karakteristik spesifik sampel yang diuji. TDS mengukur total padatan yang terlarut dalam larutan sampel nanopartikel perak. Sedangkan, AAS mengukur konsentrasi berdasarkan penyerapan energi cahaya oleh atom-atom pada panjang gelombang tertentu. Pengukuran ini dilakukan pada tingkat atomik, sehingga dapat memberikan nilai yang sangat spesifik dan sensitif terhadap unsur yang diukur, dalam hal ini nanopartikel perak.

3. Hasil Uji PSA

Gambar 5 menunjukkan distribusi ukuran nanopartikel perak yang diuji. Grafik tersebut menampilkan bahwa terdapat dua puncak distribusi ukuran partikel.

Informasi tentang dua puncak tersebut dapat dilihat pada *peaks summary* Tabel 3. Pada *peaks summary* tersebut diketahui bahwa ukuran nanopartikel perak yang dihasilkan dari proses elektrolisis ada dua yaitu 286,2 nm dengan volume 22,1% dan 98,1 nm dengan volume 77,9%. Hal ini menandakan bahwa nanopartikel perak dalam larutan memiliki ukuran yang tidak homogen. Kondisi larutan yang tidak homogen boleh jadi disebabkan adanya peristiwa agregasi partikel, sehingga dua atau lebih partikel bergabung dan menghasilkan ukuran lebih besar. Hasil uji PSA tersebut juga menunjukkan bahwa ukuran partikel dengan vol (%) terbesar memiliki ukuran di bawah 100 nm yaitu 98,1 nm. Ukuran ini sesuai dengan teori yang berlaku bahwa suatu material dapat dikatakan nanopartikel jika memiliki ukuran berkisar 1-100 nm (Affandy, 2020). Ukuran nanopartikel perak ini diharapkan mampu menembus dinding dan merusak sel bakteri *Clostridium botulinum* sehingga dapat membunuh atau menghambat pertumbuhan bakteri tersebut dengan tidak menimbulkan resistensi pada bakteri.

C. Tahap Aplikasi

Pengujian antibakteri menggunakan metode difusi sumuran menunjukkan bahwa semua sampel nanopartikel perak dan kontrol positif ciprofloxacin memiliki kemampuan antibakteri. Kontrol negatif akuades tidak memiliki kemampuan antibakteri karena tidak menunjukkan terbentuknya diameter zona bening. Berdasarkan Gambar 6, dapat diketahui bahwa lama waktu pengamatan yang dilakukan berpengaruh pada diameter zona bening yang terbentuk untuk masing-masing konsentrasi nanopartikel perak dan kontrol positif ciprofloxacin. Semakin lama waktu pengamatan, semakin besar pula ukuran diameter zona bening, sampai pada waktu tertentu diameter zona bening kembali mengecil dan menunjukkan ukuran yang konstan atau stabil di waktu akhir pengamatan. Hal ini dikarenakan bertambahnya waktu pengamatan sejalan dengan perubahan fase pertumbuhan bakteri. Fase pertumbuhan bakteri dapat digolongkan menjadi 4 fase, yaitu fase lag, fase log, fase stasioner, dan fase kematian (Risna et al., 2022). Dari keempat fase tersebut, yang dapat digunakan untuk membandingkan efektivitas antibakteri untuk setiap sampel adalah fase stasioner. Pada fase ini, pertumbuhan dan kematian bakteri terjadi secara seimbang dan pada fase ini bakteri juga memproduksi metabolit sekunder sebagai bentuk pertahanan diri (Sadikin et al., 2021).

Gambar 7 menunjukkan waktu fase stasioner setiap sampel berbeda-beda. Perbedaan waktu ini boleh jadi disebabkan oleh variasi konsentrasi nanopartikel perak yang berbeda-beda. Dari data fase stasioner tersebut, dapat diketahui rerata nilai diameter zona bening pada setiap sampel untuk dibandingkan keefektivannya dalam menghambat pertumbuhan bakteri *Clostridium botulinum*. Nilai rerata ini kemudian diplot untuk membandingkan kemampuan antibakteri setiap sampel nanopartikel perak dalam menghambat *Clostridium botulinum*. Plot grafik tersebut disajikan pada Gambar 8.

Gambar 8 menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi nanopartikel perak, diameter zona bening yang terbentuk juga semakin besar. Hal ini dapat dilihat dari diameter zona bening yang terbentuk pada konsentrasi 40 ppm lebih besar dibandingkan pada konsentrasi 30 ppm, dan begitu juga seterusnya. Konsentrasi nanopartikel perak 70 ppm dapat dikatakan sebagai konsentrasi nanopartikel perak yang paling efektif dalam menghambat pertumbuhan bakteri *Clostridium botulinum*.

Pada pengujian antibakteri dapat dilihat pula bahwa konsentrasi nanopartikel perak dan kontrol positif ciprofloxacin mampu mempertahankan sifat antibakterinya hingga lebih dari 72 jam. Namun, untuk sampel nanopartikel perak dengan konsentrasi 30 ppm

dan 40 ppm menunjukkan nilai diameter zona bening yang sangat kecil pada jam ke-72. Hal ini menandakan bahwa kemampuan antibakterinya sudah hampir habis.

SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, nanopartikel perak dapat dihasilkan melalui proses elektrolisis lempengan AgBr. Hal ini dibuktikan dengan karakterisasi spektrofotometer UV-Vis yang menunjukkan hanya terdapat satu puncak absorbansi untuk masing-masing sampel nanopartikel perak. Puncak absorbansi tersebut terjadi pada rentang panjang gelombang 405 nm sampai 419 nm. Hasil pengujian AAS yang menunjukkan larutan sampel mengandung nanopartikel perak dengan konsentrasi terendah 43,314 ppm dan konsentrasi tertinggi 87,696 ppm. Hasil PSA juga menunjukkan bahwa partikel di dalam larutan memiliki ukuran 98,1 nm dengan volume 77,9 %. Pengaplikasian nanopartikel perak sebagai antibakteri menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi sampel, maka semakin besar pula diameter zona bening yang terbentuk. Konsentrasi yang paling efektif menghambat pertumbuhan bakteri *Clostridium botulinum* adalah 70 ppm. Masing-masing sampel nanopartikel perak mampu mempertahankan kemampuan antibakterinya hingga lebih dari jam ke-72.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dosen Pembimbing dan semua pihak yang telah berperan penting selama proses pelaksanaan penelitian dan penyusunan artikel.

DAFTAR PUSTAKA

- Affandy, H. (2020). Integrasi Nanoteknologi Dalam Pembelajaran Di Era Society 5.0: Kajian dari Perspektif Pembelajaran Fisika. *Jurnal Materi Dan Pembelajaran Fisika*, 10(2), 95. <https://doi.org/10.20961/jmpf.v10i2.46463>
- Artika, P. I., & Zainul, R. (2018). Potassium Bromide (KBr): Transformasi Ionik dan Sifat Termodinamika dalam Larutan. *Physical Chemistry Laboratory, FMIPA, Universitas Negeri Padang, Indonesia*, 3(Ii).
- Cenciarelli, O., Riley, P. W., & Baka, A. (2019). Biosecurity Threat Posed by Botulinum Toxin. *Toxins*, 11(12), 1–9. <https://doi.org/10.3390/toxins11120681>
- Due, Y. P., Bukit, M., & Johannes, A. Z. (2019). Kajian Awal Spektrum Serapan UV–Vis Senyawa Hasil Ekstrak Daun Jeruk Nipis (*Citrus Aurantifolia*) Asal Tarus Kabupaten Kupang. *Jurnal Fisika: Fisika Sains Dan Aplikasinya*, 4(1), 40–47. <https://doi.org/10.35508/fisa.v4i1.1437>
- Dwistika, R., & Suparno, S. (2018). Characteristics of Silver Nanoparticles From Electrolysis Techniques Based on UV-Vis Spectrophotometer Amd Particle Size Analyzer (Psa) Test. *Jurnal UNY*, 399–412.
- Handoko, V., Yusradinan, A., Nursyahid, A., Wandira, A., & Wulandari, A. P. (2022). Green Synthesis Nanopartikel Perak dengan Bioreduktor Ekstrak Daun Rami (*Boehmeria nivea*) melalui Iradiasi Microwave. *Chimica et Natura Acta*, 10(1), 15–21.
- Latumakulita, I. I., & Suparno, S. (2022). Characterization of Silver Nanoparticle Electrolysis Method with UV-Vis Spectrometer, Atomic Absorption Spectrophotometer, and Particle

- Size Analyzer. *Kasuari: Physics Education Journal (KPEJ)*, 5(1), 42–52. <https://doi.org/10.37891/kpej.v5i1.178>
- Nalawati, A. N., Suyatma, N. E., & Wardhana, D. I. (2021). Sintesis Nanopartikel Perak (NPAG) Dengan Bioreduktor Ekstrak Biji Jarak Pagar dan Kajian Aktivitas Antibakterinya. *Jurnal Teknologi Dan Industri Pangan*, 32(1), 98–106. <https://doi.org/10.6066/jtip.2021.32.2.98>
- Palupi, S. K. I., & Suparno, S. (2020). Ionic Silver Nanoparticles (Ag⁺) sebagai Bahan Antibiotik Alternatif Untuk Salmonella Typhymurium. *Indonesian Journal of Applied Physics*, 10(01), 8. <https://doi.org/10.13057/ijap.v10i01.34407>
- Rekso, G. T., & Sudradjat, A. (2018). Sintesis Ag Nano-Kitosan dalam Pelarut Asam Asetat dengan Iradiasi Sinar Gamma. *Prosiding Seminar Nasional Kimia Dan Pendidikan ...*, 1.
- Risna, Y. K., Sri-Harimurti, S.-H., Wihandoyo, W., & Widodo, W. (2022). Kurva Pertumbuhan Isolat Bakteri Asam Laktat dari Saluran Pencernaan Itik Lokal Asal Aceh. *Jurnal Peternakan Indonesia (Indonesian Journal of Animal Science)*, 24(1), 1. <https://doi.org/10.25077/jpi.24.1.1-7.2022>
- Rorong, J. A., & Wilar, W. F. (2020). Keracunan Makanan Oleh Mikroba. *Techno Science Journal*, 2(2), 47–60.
- Sadikin, N. A. N., Bintari, S. H., Widiatningrum, T., & Dewi, P. (2021). Isolasi, Karakterisasi, dan Uji Aktivitas Antibakteri dari Bakteri Endofit Daun Kelor (*Moringa oleifera*). *Life Science*, 10(2), 109–119. <https://doi.org/10.15294/lifesci.v10i2.54441>
- Walensky, R. P., Anne Schuchat, D., Deputy Director Daniel Jernigan, P. B., Bunnell, R., Layden, J., Kent, C. K., Gottardy, A. J., Leahy, M. A., Martinroe, J. C., Spriggs, S. R., Yang, T., Doan, Q. M., King, P. H., Starr, T. M., Yang, M., Jones, T. F., Matthew Boulton, C. L., Carolyn Brooks, M., Jay Butler, M. C., ... Sanchez, J. N. (2021). Clinical Guidelines for Diagnosis and Treatment of Botulism, 2021 Morbidity and Mortality Weekly Report Recommendations and Reports Centers for Disease Control and Prevention MMWR Editorial and Production Staff (Serials) MMWR Editorial Board. *Recommendations and Reports*, 70(2).
- Wicaksana, A., & Rachman, T. (2018). Toksikologi Pangan. In *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952. (Vol. 3, Issue 1). <https://medium.com/@arifwicaksanaa/pengertian-use-case-a7e576e1b6bf>