

The Effect of Nanocurcumin Size Inhibitory Effect on *Klebsiella pneumoniae* and *Staphylococcus aureus* Bacteria

Raffael Griffin Frarie Suak¹, Donn Richard Ricky^{2*}, Joshua H. L. Tobing²

¹Program Studi Farmasi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Advent Indonesia, Bandung, Indonesia;

²Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Advent Indonesia, Bandung, Indonesia;

Article History

Received : November 22th, 2025

Revised : December 02th, 2025

Accepted : December 03th, 2025

*Corresponding Author: **Donn Richard Ricky**, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Advent Indonesia, Bandung, Indonesia;
Email: donn.ricky@unai.edu

Abstract: Bacterial infections such by *Staphylococcus aureus* and *Klebsiella pneumoniae* remain a major health challenge due to the increasing problem of antibiotic resistance. Curcumin has shown antibacterial potential; however, its poor solubility and low bioavailability limit its effectiveness. This study aimed to analyze the effect of varying PVP K30 concentrations on the particle size of nanocurcumin and its inhibitory activity against both bacteria. A true experimental design with a posttest-only control group was employed using three concentrations of PVP K30: 1.5 g/mL, 3.0 g/mL, and 4.5 g/mL. Particle size was measured using a Particle Size Analyzer (PSA), while antibacterial activity was evaluated through the disk diffusion method on Mueller-Hinton Agar (MHA). The results showed that increasing PVP K30 concentration reduced particle size, with mean diameters of 132.2 nm, 295.2 nm, and 20.6 nm, respectively. The inhibition zones by *S. aureus* ranged from 1.82–3.6 mm (weak), while those by *K. pneumoniae* ranged from 1,08–8,98 mm (weak to moderate). ANOVA analysis indicated no significant effect on *S. aureus* ($p = 0.099 > \alpha = 0.05$), but a significant effect on *K. pneumoniae* ($p = 0.000 < \alpha = 0.05$). These findings suggest that nanoparticle size plays an essential role in enhancing the antibacterial activity of nanocurcumin, particularly against Gram-negative bacteria.

Keywords: Antibacterial, *Klebsiella pneumoniae*, nanocurcumin, PVP K30, particle size, *Staphylococcus aureus*.

Pendahuluan

Kesehatan merupakan aspek dasar dalam menunjang kualitas hidup, namun infeksi bakteri masih menjadi tantangan serius dalam dunia kesehatan, terutama akibat meningkatnya resistensi terhadap antibiotik. Resistensi muncul ketika bakteri menciptakan metode perlindungan terhadap antibiotik yang sebelumnya efektif, dan diperparah oleh penggunaan antibiotik yang tidak tepat (Putri *et al.*, 2023). Laporan *Global Burden of Disease* oleh Naghavi *et al.*, (2024) menunjukkan bahwa, pada tahun 2019, terdapat 4,95 juta kematian yang terkait dengan infeksi bakteri resisten antibiotik, dengan 1,27 juta kematian terjadi secara langsung akibat resistensi antimikroba.

Bakteri patogen oportunistik seperti *Staphylococcus aureus* dan *Klebsiella pneumoniae* menyebabkan berbagai infeksi klinis yang parah, terutama pada mereka yang memiliki

sistem kekebalan tubuh yang lemah (Faria *et al.*, 2023). Data WHO terbaru dari tahun 2024 menunjukkan bahwa kedua bakteri ini termasuk dalam daftar patogen prioritas global, diklasifikasikan sebagai prioritas tinggi karena tingkat resistensinya yang signifikan, pilihan pengobatan yang terbatas, dan dampaknya terhadap kesehatan masyarakat global.

Staphylococcus aureus adalah bakteri Gram-positif yang merupakan flora normal pada kulit dan mukosa hidung, komponen saluran pernapasan atas. Bakteri ini juga dapat berperan sebagai patogen yang menyebabkan infeksi saluran pernapasan, termasuk faringitis, tonsilitis, dan pneumonia (Sujono *et al.*, 2019; Cavalcanti *et al.*, 2019; Laux *et al.*, 2019; Flora *et al.*, 2019). Berdasarkan penelitian di Jakarta, prevalensi *Staphylococcus aureus* pada lansia mencapai 28%, dengan 6% di antaranya merupakan *Methicillin-Resistant Staphylococcus aureus* (MRSA) (Safari *et al.*, 2015). Selain itu, statistik

nasional menunjukkan bahwa prevalensi MRSA meningkat dari 7,69% pada tahun 2015 menjadi 12,94% pada tahun 2018, yang menandakan peningkatan resistensi antibiotik di Indonesia (Nuryah *et al.*, 2019).

Klebsiella pneumoniae adalah bakteri Gram-negatif berbentuk batang yang hidup di sistem gastrointestinal dan dapat menghuni saluran pernapasan. Bakteri ini dikenal sebagai patogen yang menyebabkan beberapa infeksi saluran pernapasan, termasuk tonsilitis dan pneumonia, baik di lingkungan masyarakat maupun rumah sakit (Klagisa *et al.*, 2021 & Assoni *et al.*, 2021). Sebuah laporan penelitian dari RSUP Sanglah di Denpasar menunjukkan bahwa kejadian *Klebsiella pneumoniae* penghasil *Extended Spectrum Beta Lactamase* (ESBL) yang diisolasi dari sampel sputum pasien dengan infeksi saluran pernapasan adalah 69,2% (Manuaba *et al.*, 2021).

Kunyit (*Curcuma longa*) mengandung senyawa aktif utama yaitu kurkumin, yang dikenal memiliki berbagai manfaat terapeutik, termasuk sifat antiinflamasi, antioksidan, antibakteri, dan antikanker (Lima *et al.*, 2021 & Górski *et al.*, 2022). Namun, pemanfaatan kurkumin dalam aplikasi klinis masih terbatas oleh beberapa faktor, seperti kelarutan yang rendah dalam air, bioavailabilitas yang rendah, dan stabilitas yang kurang optimal di dalam tubuh (Putri *et al.*, 2019 & Utami *et al.*, 2022).

Perlu dilakukan pengembangan kurkumin dalam bentuk nanopartikel, yang dikenal sebagai nanokurkumin untuk mengatasi masalah ini. Teknologi nanopartikel memungkinkan peningkatan kelarutan, absorpsi, dan efektivitas kurkumin dalam membunuh bakteri (Sánchez *et al.*, 2020). Nanokurkumin memiliki ukuran partikel yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan kurkumin konvensional, yang memungkinkan partikel kurkumin berpenetrasi lebih baik ke dalam sel bakteri dan meningkatkan interaksi dengan dinding sel mikroba (Adahoun *et al.*, 2017).

Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi pengaruh ukuran partikel nanokurkumin terhadap daya hambatnya pada pertumbuhan *Staphylococcus aureus* dan *Klebsiella pneumoniae*. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh data yang mendukung potensi nanokurkumin sebagai alternatif terapi yang efektif untuk mengatasi infeksi yang disebabkan oleh kedua bakteri tersebut.

Bahan dan Metode

Metode Penelitian

Penelitian ini mengadopsi pendekatan eksperimen sejati (*true experimental method*) dengan desain *posttest-only control group*. Peneliti mengevaluasi pengaruh variasi ukuran nanopartikel kurkumin yang dihasilkan dengan memvariasikan konsentrasi polivinilpirrolidon (PVP K30) terhadap kemampuan hambat terhadap bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Klebsiella pneumoniae*. Metode difusi cakram digunakan pada media *Mueller-Hinton Agar* (MHA) untuk melakukan uji aktivitas antibakteri. Setiap percobaan diulang sebanyak tiga kali untuk memperoleh hasil yang dapat dipercaya. Pendekatan komparatif juga digunakan untuk menilai kemampuan berbagai ukuran nanopartikel kurkumin dalam menghambat kedua bakteri.

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Particle Size Analyzer* (HORIBA SZ-100, Japan), rotor evaporator (RE-1000 VN), rotor stator homogenizer (*High Speed Homogenizer* FSH-2A), *Magnetic Hot Plate Stirrer* (FOUR E'S SCIENTIFIC), inkubator (Memmert, Germany), lemari sterilisasi (SR-N-100, China), timbangan analitik, labu erlenmeyer, jangka sorong digital, rak tabung reaksi, pengaduk vortex, *plastic wraps*, foil aluminium, cawan petri, gelas ukur, kaca arloji, alkohol, korek api, jarum suntik, perban steril, kapas, stiker label, tabung reaksi, pinset logam berujung tajam, ose, transport swab (*cotton sterile*), sarung tangan lateks, kertas disk, kertas HVS, tisu, dan *hair cap* medis.

Bahan penelitian ini adalah bubuk kurkumin dengan kemurnian 78.9% (20.7%) merupakan kurkuminoid pendamping, bisdemetoksikurkumin, dan demetoksikurkumin) yang dibeli dari Merck KgaA, Germany, bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Klebsiella pneumoniae*, Polyvinylpyrrolidone K30 (PVP), *Mueller-Hinton Agar* (MHA), dan etanol 70% (C₂H₅OH).

Penyiapan Prekursor

Bahan kurkumin dan PVP K30 disiapkan untuk mensintesis nanopartikel kurkumin. Sebanyak 500 mg serbuk kurkumin dilarutkan ke dalam 500 mL etanol dengan cara diaduk menggunakan *magnetic hot plate stirrer*. PVP K30 dengan tiga ragam konsentrasi yaitu: 1.5

g/mL, 3.0 g/mL, dan 4.5 g/mL, dilarutkan ke dalam 50 ml etanol dengan cara diaduk menggunakan *magnetic stirrer*. Dengan itu, tiga ragam konsentrasi prekursor PVP K30 akan digunakan untuk membuat nanopartikel kurkumin.

Sintesis Nanopartikel Kurkumin

Nanopartikel kurkumin dihasilkan dengan memanfaatkan tiga ragam prekursor di atas, menggunakan alat Rotor Stator Homogenizer tipe *High speed homogenizer* FSH-2A (Gambar 1). Alat ini bekerja dengan memutar rotor secara cepat di dalam stator tetap, menghasilkan gaya geser yang sangat tinggi. Celah antara rotor dan stator dirancang cukup kecil, sekitar 0,1 mm. Area yang padat ini menghasilkan aliran hidrodinamik dan turbulensi yang kuat, yang mampu memecah partikel dalam larutan prekursor menjadi ukuran yang sangat kecil (skala nanometer), sehingga menghasilkan distribusi partikel yang lebih stabil dan merata.



Gambar 1. Rotor Stator Homogenizer (*High speed homogenizer* FSH-2A) yang digunakan untuk menghasilkan nanopartikel kurkumin dalam penelitian ini. Diameter rotor 10 mm, diameter stator 12 mm, dan jarak antara rotor dan stator 0.05 mm.

Pembuatan nanopartikel kurkumin dilakukan dengan perbandingan kurkumin : PVP K30 = 2 : 1. Larutan kurkumin dan larutan PVP K30 terlebih dahulu disiapkan secara terpisah menggunakan pelarut etanol hingga homogen, kemudian diambil masing-masing sebanyak 33.3 mL larutan kurkumin dan 16.7 mL larutan PVP K30 sehingga total volume campuran menjadi 50 mL. Campuran dihomogenkan dengan homogenizer pada kecepatan 7000 rpm selama 3 menit. Selama homogenisasi prekursor PVP K30, larutan kurkumin diteteskan secara bertahap dan konsisten ke dalamnya (110 tetes per menit) dari spuit berdiameter jarum 0,6 mm. Selanjutnya, homogenisasi dilakukan pada kecepatan 10.000 rpm selama 10 menit pada suhu ruang untuk mencapai distribusi nanopartikel yang seragam. Setelah proses sintesis selesai, nanopartikel

kurkumin yang dihasilkan dikarakterisasi untuk menilai sifat-sifatnya. Karakterisasi ini meliputi penilaian distribusi diameter dan perhitungan diameter rata-rata. Pengukuran dalam penelitian ini menggunakan sistem alat *Particle Size Analyzer* (PSA) tipe HORIBA SZ-100 (*Japan*) dengan teknik *dynamic light scattering* (DLS). Selanjutnya, setelah karakterisasi selesai, campuran hasil sintesis dievaporasi menggunakan *rotor evaporator* pada suhu ruang hingga pelarut etanol menguap sempurna, menghasilkan residu kental nanopartikel kurkumin. Proses seperti ini dilakukan untuk setiap penggunaan masing-masing tiga ragam konsentrasi prekursor PVP K30 di atas.

Sterilisasi

Alat penelitian ini dibersihkan dengan seksama terlebih dahulu, kemudian dikeringkan menggunakan tisu. Alat-alat yang terbuat dari kaca tahan panas disterilkan dalam lemari sterilisasi selama 15 hingga 20 menit dengan cara menutupi perangkat tersebut menggunakan kertas HVS.

Pembuatan Suspensi Bakteri

Bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Klebsiella pneumoniae* diperoleh dengan menggunakan ose dan kemudian disuspensikan dalam 10 mililiter larutan NaCl fisiologis 0,9% di dalam tabung reaksi. Suspensi bakteri kemudian diaduk menggunakan vortex mixer untuk memastikan distribusi bakteri yang merata di dalam larutan. Kekeruhan suspensi dipantau karena berfungsi sebagai indikator utama peningkatan kadar bakteri. Setelah itu, suspensi diatur agar sesuai dengan standar McFarland 0.5 yang setara dengan sekitar 1.5×10^8 CFU/mL (*colony-forming units per milliliter*). Proses ini dilanjutkan hingga kekeruhan mencapai standar yang ditentukan (Arbi *et al.*, 2021).

Pembuatan Media Agar MHA

Media *Mueller-Hinton Agar* (MHA) dibuat, dan volumenya dihitung berdasarkan aplikasi yang diinginkan, khususnya untuk 8 cawan petri. Setiap cawan petri berisi 20 mL media agar. Proses penyiapan media agar mengikuti panduan kemasan, yang menyebutkan 38 gram agar dilarutkan dalam 1000 mL air. Perhitungan ini menghasilkan 6,08 gram media MHA yang dilarutkan dalam 160 mL air sebagai pelarut.

Larutan diaduk dalam labu Erlenmeyer, dipanaskan, dan diaduk dengan pengaduk pelat panas magnetik hingga agar larut sempurna. Setelah agar larut sempurna, larutan disterilkan untuk menghilangkan mikroba yang tidak diinginkan. Prosedur sterilisasi membutuhkan waktu 15 menit dengan menggunakan lemari sterilisasi. Setelah sterilisasi, setiap cawan petri diisi dengan larutan agar steril dalam jumlah yang sama. Cawan petri yang telah diisi dengan larutan agar kemudian disimpan pada suhu ruang. Metode pendinginan ini penting untuk mencapai tekstur kenyal yang diinginkan..

Pembuatan Konsentrasi Larutan

Penyusunan konsentrasi larutan dilakukan dengan mencelupkan kertas cakram ukuran 6 mm ke dalam larutan nanokurkumin dan surfaktan PVP K30 sesuai dengan konsentrasi. Proses pembuatan konsentrasi dilaksanakan sebagai berikut:

1. 1.5 gram PVP K30 dan kurkumin yang dihomogenisasi
2. 3.0 gram PVP K30 dan kurkumin yang dihomogenisasi
3. 4.5 gram PVP K30 dan kurkumin yang dihomogenisasi

Setelah larutan dengan konsentrasi yang diinginkan sudah larut dan merata, langkah berikutnya adalah memasukkan kertas cakram ke dalam larutan tersebut. Kertas cakram tersebut dibiarkan terendam dalam larutan kurang lebih selama 1 menit. Langkah ini sangat penting untuk memastikan bahwa kurkumin dan PVP K30 dapat terserap dengan baik ke dalam kertas cakram. Setelah proses penyerapannya selesai, kertas cakram yang telah dicelupkan siap untuk digunakan dalam pengujian bakteri.

Pengujian Antibakteri dan Pengukuran Zona Hambat

Cotton swab steril dicelupkan ke dalam suspensi bakteri selama beberapa detik, kemudian kapas lidi lembap tersebut diusapkan ke media MHA dalam cawan petri. Prosedur ini dilakukan secara aseptik untuk menghindari kontaminasi oleh mikroorganisme yang tidak diinginkan. Setelah bakteri diaplikasikan pada media MHA, tiga cakram kertas yang direndam dalam larutan dengan konsentrasi tertentu diletakkan di atas cawan petri yang telah dibagi menjadi tiga bagian menggunakan pinset runcing yang telah disanitasi. Proses pembuatan apusan bakteri dilakukan untuk setiap konsentrasi

kurkumin yang digunakan. Setiap sampel diberi label nama untuk menghindari kebingungan. Setiap konsentrasi kurkumin diuji sebanyak 3 kali. Prosedur inkubasi dilakukan pada suhu 37°C selama 24 jam, dan ukuran zona hambat dicatat dengan jangka sorong digital dalam satuan milimeter (mm).

Hasil dan Pembahasan

Pengaruh Konsentrasi PVP K30 terhadap Ukuran Partikel Nanokurkumin

PVP K30 dipilih sebagai polimer penstabil dalam proses pembuatan nanokurkumin karena memiliki sifat amfifilik memungkinkan interaksi yang lebih baik dengan kurkumin yang sangat hidrofobik, sehingga membantu meningkatkan kestabilan dispersi. Studi pada pembuatan nanopartikel logam juga menunjukkan bahwa PVP K30 berperan sebagai penstabil permukaan (*capping agent*) yang mampu mengontrol ukuran partikel dan meningkatkan monodispersitas (Franco & Marco, 2020; Almeida & Parra, 2024). Menurut Safo *et al.*, (2019), konsentrasi PVP berpengaruh signifikan terhadap ukuran dan distribusi nanopartikel platina, menunjukkan bahwa jumlah PVP menentukan kestabilan dan kualitas partikel yang terbentuk. Selain itu, dalam studi lain menjelaskan bahwa PVP mampu beradsorpsi pada permukaan nanopartikel dan menjaga kestabilan dispersi melalui mekanisme *steric stabilization*, sehingga memperkuat peran PVP sebagai bahan penstabil yang efektif (Koczur *et al.*, 2015).

Tabel 1. Hasil Pengukuran Nanokurkumin (1.5)

Nanokurkumin	Rasio Luas S.P.	Nilai rata-rata (nm)	S.D	Mode
1.5	1,00	132,2	49,6	142,2
3.0	1,00	295,2	183,2	334,8
4.5	0,53	20,6	11,5	17,9

Hasil pengukuran diameter rata-rata dan standar deviasi nanopartikel kurkumin yang dihasilkan dengan tiga variasi konsentrasi PVP K30 yang berbeda disajikan pada Tabel 1. Nanopartikel kurkumin yang dihasilkan dengan konsentrasi 1,5 g/mL dan 3,0 g/mL, serta 4,5 g/mL PVP K30, masing-masing dilarutkan dalam 50 mL etanol, menunjukkan diameter rata-rata (dan simpangan baku) masing-masing sebesar 132,2 nm (49,6 nm); 295,2 nm (183,2 nm); dan 20,6 nm (11,5 nm).

Hasil pengukuran di atas, terlihat bahwa variasi konsentrasi PVP K30 memengaruhi

ukuran partikel yang dihasilkan, namun pola penurunannya tidak sepenuhnya teratur. Pada konsentrasi 1.5 g/mL dan 3.0 g/mL, diameter rata-rata nanopartikel kurkumin menunjukkan variasi yang cukup besar, sedangkan pada konsentrasi 4.5 g/mL diperoleh ukuran partikel yang jauh lebih kecil, menandakan bahwa proses homogenisasi berhasil menghasilkan partikel dalam skala nanometer.

Zona Hambat

Penelitian ini menggunakan klasifikasi daya hambat antibakteri untuk menganalisis hasil pengukuran diameter dan rata-rata zona hambat berdasarkan standar Davis–Stout (1971) (Davis &

Stout, 1971). Tabel 2 menampilkan hasil uji untuk bakteri *Staphylococcus aureus*. Hasil pengukuran, rata-rata zona hambat terbesar tercatat pada konsentrasi 3,0 g/mL PVP K30, yaitu $3,6 \pm 1,45$ mm, sedangkan rata-rata zona hambat terkecil tercatat pada konsentrasi 4,5 g/mL PVP K30, yaitu $1,82 \pm 1,02$ mm. Berdasarkan klasifikasi penghambatan, setiap perlakuan yang menargetkan *Staphylococcus aureus* dikategorikan lemah karena menunjukkan diameter zona hambat kurang dari 5 mm. Hal ini menunjukkan bahwa nanopartikel kurkumin pada berbagai konsentrasi PVP K30 belum menunjukkan efektivitas antibakteri yang signifikan terhadap *Staphylococcus aureus*.

Tabel 2. Zona hambat sampel konsentrasi PVP K30 terhadap bakteri *Staphylococcus aureus*

Bakteri	Konsentrasi uji	Zona Hambat (mm)					Rata-Rata Zona Hambat (mm)	Kategori Respon Hambat
		Replika 1	Replika 2	Replika 3	Replika 4	Replika 5		
<i>Staphylococcus aureus</i>	1.5 PVP K30	4.2	2.4	1.6	0.6	0.4	1.84 ± 1.54	Lemah
	3.0 PVP K30	3.3	5.7	4.2	1.8	3.0	3.6 ± 1.45	Lemah
	4.5 PVP K30	2.6	3.2	1.4	1.0	0.9	1.82 ± 1.02	Lemah
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	1.5 PVP K30	1.1	0.6	0.5	1.6	1.6	1.08 ± 0.53	Lemah
	3.0 PVP K30	3.8	4.5	3.3	2.5	2.3	3.28 ± 0.91	Lemah
	4.5 PVP K30	13.3	9.3	10.2	7.6	4.5	8.98 ± 3.25	Sedang

Hasil pengujian terhadap bakteri *Klebsiella pneumoniae* dapat dilihat pada Tabel 2. Nilai rata-rata zona hambat tertinggi diperoleh pada konsentrasi 4.5 g/mL PVP K30 sebesar 8.98 ± 3.25 mm, yang termasuk dalam kategori sedang. Sementara itu, konsentrasi 1.5 g/mL dan 3.0 g/mL PVP K30 masing-masing menunjukkan rata-rata zona hambat 1.08 ± 0.53 mm dan 3.28 ± 0.91 mm, yang termasuk dalam kategori lemah. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa peningkatan konsentrasi PVP K30 cenderung meningkatkan daya hambat terhadap *Klebsiella pneumoniae*, meskipun aktivitas yang dihasilkan masih tergolong sedang.

Hasil uji pada tabel 2, variasi ukuran nanokurkumin tidak menunjukkan perbedaan signifikan terhadap zona hambat pada *Staphylococcus aureus*. Pada saat yang sama, pada *Klebsiella pneumoniae*, perbedaan ukuran nanokurkumin menyebabkan variasi zona hambat yang signifikan. Variasi reaksi *Staphylococcus aureus* dan *Klebsiella pneumoniae* terhadap nanokurkumin dapat dikaitkan dengan sifat dinding sel masing-masing bakteri. *S. aureus*, sebagai bakteri Gram-positif, memiliki lapisan peptidoglikan yang padat, kuat, dan terstruktur rapat dengan ikatan silang yang ekstensif, yang

berfungsi sebagai penghalang fisik untuk mencegah masuknya zat antimikroba dan nanopartikel (Rohde, 2019).

Di samping itu, kurkumin memiliki sifat hidrofobik dan dilaporkan memiliki kemampuan interaksi yang buruk dengan peptidoglikan, sehingga semakin membatasi difusinya pada bakteri Gram-positif (Zheng *et al.*, 2020). Sebaliknya, *K. pneumoniae* sebagai bakteri Gram-negatif, memiliki lapisan peptidoglikan yang lebih tipis dan membran luar yang mengandung porin, yang memfasilitasi difusi dan interaksi nanopartikel dengan membran sel. Penelitian Hettiarachchi *et al.*, (2022) juga menunjukkan bahwa nanokurkumin berukuran lebih kecil memiliki luas permukaan lebih besar dan permeabilitas membran yang lebih tinggi, sehingga meningkatkan aktivitas antibakterinya terutama terhadap bakteri Gram negatif yang memiliki dinding yang lebih tipis.

Uji Normalitas

Uji normalitas untuk data *Staphylococcus aureus* dan *Klebsiella pneumoniae* disajikan pada Tabel 3 Uji Kolmogorov–Smirnov dan Shapiro–Wilk menunjukkan nilai signifikansi (Sig.) > 0.05 di semua perlakuan, yang mengarah pada

kesimpulan bahwa data mengikuti distribusi normal. Data yang mengikuti distribusi normal memungkinkan analisis statistik parametrik melalui uji *one-way* ANOVA.

Tabel 3. Hasil Normalitas *Staphylococcus aureus* dan *Klebsiella pneumoniae*

Zona hambat Bakteri	Konsentrasi	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		Statistik	df	Sig.	Statistik	df	Sig.
<i>Staphylococcus aureus</i>	1.5	.189	5	.200	.917	5	.513
	3.0	.182	5	.200	.982	5	.943
	4.5	.259	5	.200	.871	5	.272
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	1.5	.238	5	.200	.854	5	.206
	3.0	.204	5	.200	.948	5	.721
	4.5	.154	5	.200	.993	5	.990

Uji Analisis ANOVA

Hasil analisis ANOVA untuk *Staphylococcus aureus* disajikan pada Tabel 4, menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0.099 ($\alpha > 0.05$). Hal ini berarti tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara variasi konsentrasi PVP K30 terhadap zona hambat *Staphylococcus aureus*. Hasil analisis ANOVA untuk *Klebsiella*

pneumoniae pada Tabel 4 menunjukkan nilai signifikansi 0,000 ($\alpha < 0,05$), yang menunjukkan adanya perbedaan signifikan antara konsentrasi PVP K30 dan zona hambat. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa perubahan konsentrasi PVP K30 secara signifikan memengaruhi efektivitas antibakteri nanokurkumin terhadap *Klebsiella pneumoniae*.

Tabel 4. Hasil Analisis *One-Way* ANOVA *Staphylococcus aureus* dan *Klebsiella pneumoniae*

Bakteri		Jumlah Kuadran	Df	Rerata	F	Sig.
<i>Staphylococcus aureus</i>	Antar Kelompok	10.444	2	5.222	2.820	.099
	Dalam Kelompok	22.220	12	1.852		
	Jumlah	32.664	14			
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	Antar Kelompok	166.233	2	83.117	21.374	.000
	Dalam Kelompok	46.664	12	3.889		
	Jumlah	212.897	14			

Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa perubahan konsentrasi PVP K30 memengaruhi ukuran partikel nanokurkumin yang dihasilkan, dengan konsentrasi yang lebih tinggi menghasilkan partikel yang lebih kecil. Ukuran partikel yang lebih kecil berkontribusi pada peningkatan efektivitas antibakteri, terutama terhadap *Klebsiella pneumoniae*. Hasil uji statistik menunjukkan bahwa perubahan konsentrasi PVP K30 tidak berdampak signifikan terhadap penghambatan *Staphylococcus aureus* ($p = 0.099 < \alpha = 0.05$), namun berpengaruh signifikan terhadap *Klebsiella pneumoniae* ($p = 0.099 < \alpha = 0.05$). Hal ini menunjukkan bahwa ukuran nanopartikel secara signifikan memengaruhi efikasi antibakteri nanokurkumin, terutama terhadap bakteri Gram-negatif.

Ucapan Terima Kasih

Peneliti ingin mengucapkan terima kasih

kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan, sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan sukses. Ucapan terima kasih yang tulus kami sampaikan kepada dosen pembimbing atas bimbingan dan arahnya yang sangat berharga, beserta Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, staf laboratorium, dan Universitas Advent Indonesia atas fasilitas dan bantuan yang dibutuhkan selama penelitian.

Referensi

- Adahoun, M. A. A., Al-Akhras, M. A. H., Jaafar, M. S., & Bououdina, M. (2017). Enhanced Anti-cancer and Antimicrobial Activities of Curcumin Nanoparticles. *Artificial cells, nanomedicine, and biotechnology*, 45(1), 98-107. <https://doi.org/10.3109/21691401.2015.1129628>
- Almeida, L., & Parra, D. (2024). Soluble polymer-curcumin encapsulation to protect against gamma irradiation and increase the

- p water solubility.
- Brazilian Journal of Radiation Sciences*
- , 12(4A (Suppl.)), e2598-e2598.
-
- <https://doi.org/10.15392/2319-0612.2024.2598>
- Arbi, T. A., Afrina, A., & Guntara, D. J. (2021). Konsentrasi Hambat dan Bunuh Minimum Formula Hidrogel Ekstrak Daun Tin (*Ficus carica*) Terhadap Pertumbuhan *Staphylococcus aureus*. *Cakradonya Dental Journal*, 13(1), 22-31.
<file:///C:/Users/limlo/Downloads/20915-65238-1-SM.pdf>
- Assoni, L., Girardello, R., Converso, T. R., & Darrieux, M. (2021). Current Stage in the Development of *Klebsiella pneumoniae* vaccines. *Infectious diseases and therapy*, 10(4), 2157-2175.
<https://doi.org/10.1007/s40121-021-00533-4>
- Cavalcanti, V. P., Camargo, L. A. D., Moura, F. S., Melo Fernandes, E. J. D., Lamaro-Cardoso, J., Braga, C. A. D. S. B., & André, M. C. P. (2019). *Staphylococcus Aureus* in Tonsils of Patients with Recurrent Tonsillitis: Prevalence, Susceptibility Profile, and Genotypic characterization. *Brazilian Journal of Infectious Diseases*, 23, 8-14.
<https://doi.org/10.1016/j.bjid.2018.12.003>
- Davis, W. W., & Stout, T. R. (1971). Disc Plate Method of Microbiological Antibiotic Assay: I. Factors influencing variability and error. *Applied microbiology*, 22(4), 659-665.
<https://doi.org/10.1128/am.22.4.659-665.1971>
- Faria, T. M. R., da Silva, A. B. M. F., Morais, A. L. F., & de Oliveira, J. R. (2023). Bacterial Resistance: A Narrative Review on *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae* and *Pseudomonas aeruginosa*. *Research, Society and Development*, 12(11), e25121143640-e25121143640.
<https://doi.org/10.33448/rsd-v12i11.43640>
- Flora, M., Perrotta, F., Nicolai, A., Maffucci, R., Pratillo, A., Mollica, M., & Calabrese, C. (2019). *Staphylococcus Aureus* in Chronic Airway Diseases: An overview. *Respiratory Medicine*, 155, 66-71.
<https://doi.org/10.1016/j.rmed.2019.07.008>
- Franco, P., & De Marco, I. (2020). The Use of Poly (N-vinyl pyrrolidone) in the Delivery of Drugs: A Review. *Polymers*, 12(5), 1114.
<https://doi.org/10.3390/polym12051114>
- Górski, M., Niedźwiadek, J., & Magryś, A. (2022). Antibacterial Activity of Curcumin a Natural Phenylpropanoid Dimer from the Rhizomes of *Curcuma longa* L. and its Synergy with Antibiotics. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 29(3), 394-400.
<https://doi.org/10.26444/aaem/148393>
- Hettiarachchi, S. S., Perera, Y., Dunuweera, S. P., Dunuweera, A. N., Rajapakse, S., & Rajapakse, R. M. G. (2022). Comparison of Antibacterial Activity of Nanocurcumin with Bulk Curcumin. *ACS omega*, 7(50), 46494-46500.
<https://doi.org/10.1021/acsomega.2c05293>
- Klagisa, R., Kroica, J., & Kise, L. (2021). *S. aureus* and *K. pneumoniae* on the Surface and within Core of Tonsils in Adults with Recurrent Tonsillitis. *Medicina*, 57(10), 1002.
<https://doi.org/10.3390/medicina57101002>
- Koczur, K. M., Mourdikoudis, S., Polavarapu, L., & Skrabalak, S. E. (2015). Polyvinylpyrrolidone (PVP) in Nanoparticle Synthesis. *Dalton transactions*, 44(41), 17883-17905.
<https://doi.org/10.1039/C5DT02964C>
- Laux, C., Peschel, A., & Krismer, B. (2019). *Staphylococcus aureus* Colonization of the Human Nose and Interaction with other Microbiome Members. *Microbiology Spectrum*, 7(2), 10-1128.
<https://doi.org/10.1128/microbiolspec.gpp3-0029-2018>
- Lima, E. P., Gonçalves, O. H., Ames, F. Q., Castro-Hoshino, L. V., Leimann, F. V., Cuman, R. K., ... & Bersani-Amado, C. A. (2021). Anti-inflammatory and Antioxidant Activity of Nanoencapsulated Curcuminoids Extracted from *Curcuma longa* L. in a Model of Cutaneous Inflammation. *Inflammation*, 44, 604-616.
<https://doi.org/10.1007/s10753-020-01360-4>
- Manuaba, I. A. S. P., Iswari, I. S., & Pinatih, K. J. P. (2021). Prevalensi bakteri *Escherichia coli* dan *Klebsiella pneumoniae* Penghasil Extended Spectrum Beta Lactamase

- (ESBL) yang Diisolasi dari Pasien Pneumonia di RSUP Sanglah periode tahun 2019-2020. *Jurnal Medika Udayana*, 10(12), 51-57. <https://doi.org/10.24843/MU.2021.V10.i12.P10>
- Naghavi, M., Vollset, S. E., Ikuta, K. S., Swetschinski, L. R., Gray, A. P., Wool, E. E., ... & Dekker, D. M. (2024). Global Burden of Bacterial Antimicrobial Resistance 1990–2021: A Systematic analysis with Forecasts to 2050. *The Lancet*, 404(10459), 1199-1226. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(24\)01867-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(24)01867-1)
- Nuryah, A., Yuniarti, N., & Puspitasari, I. (2019). Prevalensi dan Evaluasi Kesesuaian Penggunaan Antibiotik pada Pasien dengan Infeksi Methicillin Resistant Staphylococcus Aureus di RSUP Dr. Soeradji Tirtonegoro Klaten. *Majalah Farmaseutik*, 15(2), 123-129. <https://doi.org/10.22146/farmaseutik.v15i2.47911>
- Putri, C. I., Wardhana, M. F., Andrifanie, F., & Iqbal, M. (2023). Literature Review: Kejadian Resistensi pada Penggunaan Antibiotik. *Medical Profession Journal of Lampung*, 13(3), 219-225. <https://doi.org/10.53089/medula.v13i3.629>
- Putri, N. R. E., Ulfah, A. A., & Kusumastuti, Y. (2019). Synthesis of Curcumin Nanoparticle from *Curcuma xanthorrhiza* Roxb Extract by Solvent-Antisolvent Precipitation Method. *Jurnal Rekayasa Proses*, 13(2), 145-150. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.50909>
- Rohde, M. (2019). The Gram-positive Bacterial Cell Wall. *Microbiology spectrum*, 7(3), 10-1128. <https://doi.org/10.1128/microbiolspec.gpp3-0044-2018>
- Safari, D., Harimurti, K., Khoeri, M. M., Waslia, L., Mudaliana, S., A'yun, H. Q., Angeline, R. & Subekti, D. (2015). Staphylococcus aureus and Streptococcus pneumoniae Prevalence among Elderly Adults in Jakarta, Indonesia. *Southeast Asian J Trop Med Public Health*, 46(3), 465-471. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26521520/>
- Safo, I. A., Werheid, M., Dosche, C., & Oezaslan, M. J. N. A. (2019). The Role of Polyvinylpyrrolidone (PVP) as a Capping and Cstructure-directing Agent in the Formation of Pt Nanocubes. *Nanoscale Advances*, 1(8), 3095-3106. <https://doi.org/10.1039/C9NA00186G>
- Sánchez, A., Mejía, S. P., & Orozco, J. (2020). Recent Advances in Polymeric Nanoparticle-Encapsulated Drugs against Intracellular Infections. *Molecules*, 25(16), 3760. <https://doi.org/10.3390/molecules25163760>
- Sujono, H., Rizal, S., Purbaya, S., & Jasmansyah, J. (2019). Antibacterial Activity of the Essential Oil from Betel leaf (*Piper betle* L.) against Streptococcus pyogenes and Staphylococcus aureus. *Jurnal Kartika Kimia*, 2(1), 30-36. <https://doi.org/10.26874/jkk.v2i1.27>
- Utami, T. M., Wulandari, W. T., & Tuslinah, L. (2022). Karakteristik Nanopartikel Kurkumin dengan Penambahan Eudragit Menggunakan Metode Gelasi Ionik. In *Prosiding Seminar Nasional Diseminasi Hasil Penelitian Program Studi SI Farmasi* (Vol. 2, No. 1). <https://repository.universitaskbh.ac.id/id/eprint/2410>
- World Health Organization (2024). WHO Updates list of Drug-resistant bacteria most Threatening to Human Health. Retrieved July 22, 2025, from <https://www.who.int/news/item/17-05-2024-who-updates-list-of-drug-resistant-bacteria-most-threatening-to-human-health>
- Zheng, D., Huang, C., Huang, H., Zhao, Y., Khan, M. R. U., Zhao, H., & Huang, L. (2020). Antibacterial Mechanism of Curcumin: a Review. *Chemistry & biodiversity*, 17(8), e2000171. <https://doi.org/10.1002/cbdv.202000171>