

UJI EFEKTIVITAS INFUSA BAWANG HITAM (*Black garlic*) TERHADAP PERTUMBUHAN BAKTERI *Staphylococcus aureus* DARI ISOLAT LUKA ULKUS DIABETES MELITUS

Safira Zulfa Nur Azza¹, Suliati², Dwi Krihariyani³

Teknologi Laboratorium Medis, Politeknik Kesehatan Kementerian Kesehatan Surabaya^{1,2,3}

e-mail: zlf.safira@gmail.com¹, suli_ati@poltekkes-surabaya.ac.id²,
dwikrihariyani@poltekkes-surabaya.ac.id³

Diterima: 26/8/2026; Direvisi: 3/9/2026; Diterbitkan: 14/9/2026

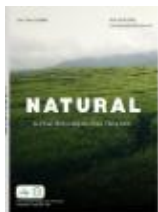
ABSTRAK

Prevalensi ulkus diabetik di Indonesia terus meningkat dan sering disertai infeksi *Staphylococcus aureus* yang dapat memperlambat penyembuhan luka. Penggunaan antibiotik jangka panjang berisiko memicu resistensi bakteri, sehingga diperlukan alternatif antibakteri alami. Bawang hitam (*black garlic*) mengandung flavonoid, tanin, saponin, fenol, dan S-allylsistein (SAC) yang berpotensi sebagai antibakteri. Penelitian ini bertujuan mengetahui aktivitas antibakteri infusa bawang hitam terhadap *S. aureus* isolat luka ulkus diabetik serta menentukan Kadar Hambat Minimum (KHM) dan Kadar Bunuh Minimum (KBM). Penelitian menggunakan desain eksperimental laboratorik dengan metode dilusi cair dan empat kali pengulangan pada setiap perlakuan. Infusa diuji pada konsentrasi 60%, 70%, 80%, dan 90%, dengan KHM ditentukan berdasarkan konsentrasi terendah yang tidak menunjukkan pertumbuhan bakteri, sedangkan KBM berdasarkan tidak adanya pertumbuhan koloni setelah subkultur. Hasil menunjukkan pertumbuhan bakteri masih ditemukan pada konsentrasi 60%, sedangkan KHM diperoleh pada konsentrasi 70%. KBM tidak dapat ditentukan karena masih ditemukan pertumbuhan koloni setelah subkultur pada seluruh konsentrasi yang diuji. Dengan demikian, infusa bawang hitam menunjukkan aktivitas antibakteri terhadap *S. aureus* isolat luka ulkus diabetik, tetapi belum menunjukkan efek bakterisidal pada konsentrasi yang digunakan.

Kata Kunci: Antibakteri, Bawang Hitam, Infusa, KHM, *Staphylococcus Aureus*.

ABSTRACT

The prevalence of diabetic ulcers in Indonesia continues to increase and is often accompanied by *Staphylococcus aureus* infection, which may delay wound healing. Long-term antibiotic use poses a risk of bacterial resistance, highlighting the need for natural antibacterial alternatives. Black garlic contains active compounds, including flavonoids, tannins, saponins, phenols, and S-allyl cysteine (SAC), which have potential antibacterial activity. This study aimed to determine the antibacterial activity of black garlic infusion against *S. aureus* isolated from diabetic ulcer wounds and to determine the Minimum Inhibitory Concentration (MIC) and Minimum Bactericidal Concentration (MBC). The study employed a laboratory experimental design using the broth dilution method, with four replicates for each treatment. Black garlic infusion was tested at concentrations of 60%, 70%, 80%, and 90%, with the MIC determined as the lowest concentration showing no visible bacterial growth and the MBC determined by the absence of bacterial colonies after subculture. The results showed that bacterial growth was still observed at 60%, whereas the MIC was obtained at 70%. The MBC could not be determined because bacterial colonies were still observed after subculture at all tested concentrations. Therefore, black garlic infusion demonstrated antibacterial activity against *S.*



aureus isolated from diabetic ulcer wounds but did not exhibit a bactericidal effect at the tested concentrations.

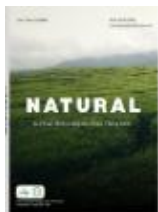
Keywords: *Antibacterial, Black Garlic, Infusion, MIC, Staphylococcus Aureus*

PENDAHULUAN

Luka pada penderita diabetes melitus tidak berhenti pada persoalan kerusakan jaringan, karena lingkungan luka yang mengalami gangguan vaskular, imunitas, dan regenerasi dapat berkembang menjadi kondisi yang persisten serta sulit dipulihkan. Ulkus diabetikum merupakan salah satu manifestasi klinis yang menggambarkan kompleksitas tersebut dan pada kondisi tertentu memerlukan tindakan pembedahan ketika kerusakan jaringan berkembang lebih lanjut (Alimurdianis et al., 2024). Dari perspektif pengelolaan infeksi kaki diabetik, kondisi luka tidak hanya perlu dipandang berdasarkan keberadaan mikroorganisme, tetapi juga melalui tingkat infeksi, karakteristik patogen, dan respons terhadap terapi antimikroba (Senneville et al., 2024). Masalahnya menjadi semakin kompleks ketika kolonisasi bakteri berlanjut menjadi infeksi yang mempertahankan inflamasi dan menghambat pemulihan jaringan. Oleh sebab itu, pengendalian mikroorganisme pada luka diabetik perlu ditempatkan sebagai bagian dari upaya mempertahankan kondisi luka yang mendukung proses penyembuhan, bukan sekadar sebagai tindakan untuk mengurangi jumlah bakteri.

Di antara mikroorganisme yang dapat berasosiasi dengan luka, *Staphylococcus aureus* memiliki karakteristik yang membuatnya relevan untuk dikaji dalam konteks infeksi jaringan. Keberadaan bakteri pada jaringan yang mengalami kerusakan dapat mempertahankan lingkungan inflamasi dan mengganggu proses pemulihan apabila pertumbuhan mikroorganisme tidak terkendali. Pendekatan terapi konvensional memang menyediakan pilihan antimikroba, tetapi efektivitas pengendalian infeksi juga dipengaruhi oleh ketepatan pemilihan agen dan kondisi mikroorganisme yang dihadapi (Senneville et al., 2024). Pada saat yang sama, penggunaan antibiotik secara tidak rasional menjadi salah satu faktor yang berkaitan dengan berkembangnya resistensi antimikroba, sehingga pencarian sumber antibakteri alternatif memperoleh relevansi yang semakin besar. Kajian mengenai ulkus kronis juga memperlihatkan bahwa infeksi merupakan salah satu persoalan yang perlu mendapat perhatian dalam pengelolaan luka diabetik, terutama karena proses patologisnya berlangsung kompleks dan berkelanjutan (Alzamani et al., 2022). Ruang permasalahan tersebut membuka peluang untuk mengevaluasi bahan alam yang secara biologis memiliki kemampuan menghambat pertumbuhan bakteri sekaligus dapat dikembangkan melalui bentuk sediaan yang sesuai.

Salah satu kandidat yang menarik berasal dari *Allium sativum* L. Bawang putih telah lama dikaji karena kandungan senyawa bioaktifnya dan aktivitas antibakteri yang dimilikinya terhadap berbagai mikroorganisme, termasuk *S. aureus* (Kristiananda et al., 2022). Akan tetapi, karakter biologis suatu bahan tanaman tidak semata-mata ditentukan oleh spesiesnya; proses yang dialami bahan tersebut setelah panen dapat mengubah komposisi kimia dan pada akhirnya memengaruhi aktivitas biologisnya. Perspektif ini menjadi penting ketika bawang putih diproses melalui pemanasan dan penuaan untuk menghasilkan bawang hitam, karena transformasi tersebut menghasilkan profil senyawa yang berbeda dari bahan awal. Ahmed dan Wang (2021) menguraikan bahwa proses pembentukan bawang hitam berkaitan dengan perubahan komponen bioaktif, termasuk senyawa organosulfur, sementara kajian yang lebih luas mengenai perkembangannya menunjukkan bahwa perubahan tersebut berkaitan pula dengan berbagai potensi aplikasi nutrasetikal dan aktivitas biologis (Vinayagam et al., 2023). Dengan demikian, bawang hitam tidak tepat diperlakukan hanya sebagai bentuk lain dari

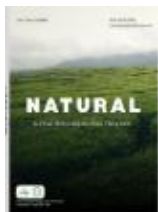


bawang putih, melainkan sebagai matriks bahan alam dengan karakter kimia dan potensi biologis yang perlu dievaluasi secara tersendiri.

Perubahan tersebut memberikan dasar untuk menelaah kemungkinan pemanfaatan bawang hitam sebagai sumber antibakteri. Selama proses *aging*, transformasi senyawa dalam bawang putih berlangsung bersamaan dengan perubahan karakteristik fisikokimia bahan, termasuk terbentuknya atau meningkatnya sejumlah komponen bioaktif yang berbeda dari bahan segarnya (Ahmed & Wang, 2021; Sasmaz et al., 2025). Perubahan komposisi itu tidak bersifat sederhana karena dipengaruhi oleh kondisi pemanasan, kelembapan, dan lama proses, sehingga profil senyawa yang dihasilkan dapat menentukan karakter aktivitas biologis bawang hitam. Vecchi et al. (2025) memperlihatkan bahwa evolusi komposisi kimia bawang hitam berlangsung sepanjang proses pengolahannya dan berkaitan dengan spektrum aktivitas biologis yang luas. Sementara itu, telaah sistematis Mandge et al. (2026) menempatkan *phytochemistry* dan *biofunctionality* bawang hitam sebagai bidang yang terus berkembang, dengan berbagai komponen bioaktif yang berkontribusi terhadap potensi biologis bahan tersebut. Kerangka ini memberikan alasan ilmiah bahwa aktivitas antibakteri bawang hitam perlu dilihat berdasarkan bentuk bahan yang digunakan, cara pengolahannya, serta karakter mikroorganisme sasaran.

Bukti eksperimental juga mulai memperlihatkan bahwa aktivitas antibakteri bawang hitam dapat dipengaruhi oleh karakteristik proses pengolahannya. Muharram et al. (2022), misalnya, menemukan aktivitas antibakteri ekstrak bawang hitam dengan variasi waktu *aging* terhadap bakteri yang berkaitan dengan masalah kulit, sehingga lama pengolahan menjadi salah satu aspek yang layak dipertimbangkan dalam evaluasi biologis bahan. Penelitian mengenai pemanfaatan ekstrak *black garlic* dalam bentuk gel untuk ulkus diabetik juga telah dilakukan, yang memperlihatkan adanya arah pengembangan bawang hitam menuju aplikasi yang berkaitan dengan luka diabetik (Isna et al., 2021). Namun, pendekatan berbasis ekstrak atau formulasi topikal belum secara otomatis menjawab bagaimana bawang hitam dalam bentuk infusa berinteraksi dengan isolat *S. aureus* yang benar-benar diperoleh dari luka ulkus diabetik. Perbedaan pelarut, bentuk sediaan, proses preparasi, sumber isolat, serta metode pengukuran aktivitas dapat menghasilkan respons antibakteri yang berbeda. Karena itu, temuan dari penelitian dengan bahan, sediaan, atau mikroorganisme yang berbeda tidak dapat langsung digunakan untuk menetapkan konsentrasi efektif infusa bawang hitam terhadap isolat klinis luka diabetik.

Pada titik inilah terdapat ruang penelitian yang lebih spesifik. Literatur yang tersedia telah memberikan dasar mengenai potensi antibakteri *A. sativum*, perubahan fitokimia selama pembentukan bawang hitam, serta berbagai aktivitas biologis produk tersebut (Kristiananda et al., 2022; Ahmed & Wang, 2021; Vinayagam et al., 2023; Sasmaz et al., 2025; Vecchi et al., 2025; Mandge et al., 2026). Di sisi lain, penelitian eksperimental mengenai bawang hitam telah menggunakan pendekatan dan konteks yang beragam, termasuk variasi waktu *aging* dan aplikasi pada masalah kulit (Muharram et al., 2022), sedangkan kajian yang berhubungan dengan ulkus diabetik lebih banyak diarahkan pada formulasi gel ekstrak (Isna et al., 2021). Belum tersedianya informasi yang secara khusus menghubungkan infusa bawang hitam, *S. aureus* dari isolat klinis luka ulkus diabetik, serta penentuan Kadar Hambat Minimum (KHM) dan Kadar Bunuh Minimum (KBM) menciptakan kesenjangan antara potensi biologis yang telah diketahui dan bukti yang dibutuhkan untuk menilai efektivitas antibakterinya secara lebih spesifik. Kesenjangan tersebut bukan hanya terletak pada bahan yang digunakan, tetapi juga pada konteks biologis isolat yang diuji, karena isolat klinis dari luka diabetik merepresentasikan kondisi mikroorganisme yang lebih dekat dengan permasalahan infeksi yang menjadi sasaran penelitian.



Penelitian ini kemudian diarahkan untuk mengisi ruang tersebut melalui pengujian aktivitas antibakteri infusa bawang hitam terhadap *S. aureus* yang berasal dari isolat klinis luka ulkus diabetik. Nilai inovasinya terletak pada pemindahan kajian bawang hitam dari sekadar eksplorasi kandungan dan aktivitas biologis umum menuju pengujian yang lebih kontekstual, yaitu menggunakan bahan dalam bentuk infusa dan mikroorganisme yang diperoleh langsung dari lingkungan luka diabetik. Penggunaan pendekatan dilusi memungkinkan aktivitas antibakteri tidak hanya dinilai berdasarkan ada atau tidaknya zona hambat, tetapi juga diarahkan untuk memperoleh informasi mengenai konsentrasi minimum yang berkaitan dengan penghambatan dan pembunuhan bakteri. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan menghasilkan bukti yang lebih terarah mengenai hubungan antara konsentrasi infusa bawang hitam dan respons *S. aureus* isolat klinis. Atas dasar tersebut, penelitian bertujuan menganalisis aktivitas antibakteri infusa bawang hitam terhadap pertumbuhan *S. aureus* yang berasal dari isolat klinis luka ulkus diabetik serta menentukan KHM dan KBM pada konsentrasi yang diuji.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan eksperimen laboratoris dengan metode dilusi cair (*broth dilution*) untuk mengetahui aktivitas antibakteri infusa bawang hitam terhadap *Staphylococcus aureus* yang berasal dari isolat luka ulkus diabetes melitus. Penelitian dilaksanakan pada Oktober 2025–Juni 2026 di Laboratorium Bakteriologi Jurusan Teknologi Laboratorium Medis Poltekkes Kemenkes Surabaya, sedangkan isolat diperoleh dari Rumah Perawatan Luka Diabetes Kayoon, Surabaya. Perlakuan terdiri atas infusa bawang hitam konsentrasi 60%, 70%, 80%, dan 90%, kontrol positif ciprofloxacin [cantumkan konsentrasi yang digunakan], serta kontrol negatif aquadest steril, dengan masing-masing perlakuan dilakukan sebanyak empat kali replikasi. Bawang hitam dibuat dari bawang putih segar melalui proses pemanasan/fermentasi pada kondisi suhu dan kelembapan terkontrol selama 10 hari, kemudian infusa dibuat menggunakan perbandingan bahan dan pelarut [cantumkan rasio] pada suhu [cantumkan suhu] selama [cantumkan waktu], selanjutnya diencerkan menggunakan pelarut yang sesuai hingga diperoleh konsentrasi 60%, 70%, 80%, dan 90%. Isolat *S. aureus* dipilih dari sampel luka ulkus diabetes melitus berdasarkan kriteria isolat yang tumbuh pada media kultur dan teridentifikasi sebagai *S. aureus* melalui prosedur identifikasi laboratorium yang digunakan, seperti pengamatan karakteristik koloni dan uji konfirmasi [cantumkan jenis uji yang benar-benar dilakukan]. Suspensi bakteri dibuat dari hasil subkultur pada media *Nutrient Agar* (NA), kemudian disesuaikan dengan standar McFarland 0,5 dan diencerkan hingga 10^{-3} . Pada metode dilusi cair, [cantumkan volume] infusa pada masing-masing konsentrasi dicampurkan dengan [cantumkan volume] suspensi bakteri dan [cantumkan volume] media *Tryptic Soy Broth* (TSB), kemudian dihomogenkan dan diinkubasi pada suhu [cantumkan suhu] selama [cantumkan waktu]. Kontrol positif digunakan untuk menunjukkan respons bakteri terhadap antibiotik pembanding berupa ciprofloxacin, sedangkan kontrol negatif digunakan untuk memastikan tidak terdapat pengaruh pertumbuhan atau kontaminasi dari pelarut.

Setelah inkubasi, campuran dari setiap kelompok ditanam pada media NA untuk menghitung pertumbuhan bakteri dan hasilnya dinyatakan dalam CFU/mL. Kadar Hambat Minimum (KHM) ditetapkan sebagai konsentrasi terendah infusa yang tidak menunjukkan pertumbuhan bakteri pada media uji berdasarkan kriteria pengamatan yang ditetapkan, sedangkan Kadar Bunuh Minimum (KBM) ditentukan melalui subkultur dari kelompok yang tidak menunjukkan pertumbuhan dan dinyatakan sebagai konsentrasi terendah yang tidak menghasilkan koloni bakteri setelah inkubasi. Tahap subkultur untuk penentuan KBM dilakukan dengan mengambil inokulum dari konsentrasi yang memenuhi kriteria KHM,

kemudian ditanam pada media NA dan diinkubasi pada suhu [cantumkan suhu] selama [cantumkan waktu] sebelum dilakukan pengamatan koloni. Data jumlah koloni dianalisis menggunakan SPSS melalui uji normalitas Shapiro–Wilk dan uji homogenitas varians Levene, kemudian dilanjutkan dengan One-Way ANOVA apabila asumsi parametrik terpenuhi; apabila terdapat perbedaan yang signifikan, analisis dilanjutkan dengan uji *post hoc* yang sesuai. Taraf kemaknaan ditetapkan pada $p < 0,05$. Data hasil pengujian KBM yang tidak memenuhi analisis kuantitatif disajikan secara deskriptif berdasarkan ada atau tidaknya pertumbuhan koloni pada setiap konsentrasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

HASIL

Pengujian aktivitas antibakteri infusa bawang hitam terhadap *Staphylococcus aureus* isolat klinis luka ulkus diabetes melitus dilakukan melalui metode dilusi cair yang dilanjutkan dengan penanaman pada media *Nutrient Agar* (NA). Pertumbuhan bakteri diamati berdasarkan kemampuan mikroorganisme membentuk koloni setelah memperoleh perlakuan pada konsentrasi infusa 60%, 70%, 80%, dan 90%. Hasil pengamatan dinyatakan dalam *colony-forming unit* (CFU/mL) untuk menggambarkan jumlah bakteri viabel yang masih mampu membentuk koloni. Setiap konsentrasi diuji dalam empat replikasi dan dibandingkan dengan ciprofloxacin sebagai kontrol positif serta aquadest sebagai kontrol negatif. Rincian hasil penghitungan koloni pada seluruh kelompok disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Jumlah Koloni *Staphylococcus aureus* pada Berbagai Konsentrasi Infusa Bawang Hitam

Kelompok	R1 (CFU/mL)	R2 (CFU/mL)	R3 (CFU/mL)	R4 (CFU/mL)	Rata-rata (CFU/mL)
Infusa 60%	$6,84 \times 10^7$	$7,32 \times 10^7$	$7,56 \times 10^7$	$6,46 \times 10^7$	$7,045 \times 10^7$
Infusa 70%	$1,15 \times 10^7$	$1,41 \times 10^7$	$1,55 \times 10^7$	$1,06 \times 10^7$	$1,2925 \times 10^7$
Infusa 80%	$1,09 \times 10^7$	$1,13 \times 10^7$	$1,23 \times 10^7$	$8,70 \times 10^6$	$1,08 \times 10^7$
Infusa 90%	$4,10 \times 10^6$	$3,10 \times 10^6$	$2,70 \times 10^6$	$1,30 \times 10^6$	$2,80 \times 10^6$
Kontrol positif (ciprofloxacin)	0	0	0	0	0
Kontrol negatif (aquadest)	$7,21 \times 10^7$	$9,13 \times 10^7$	$8,03 \times 10^7$	$7,39 \times 10^7$	$7,94 \times 10^7$

Data pada Tabel 1 memperlihatkan perubahan jumlah koloni seiring dengan peningkatan konsentrasi infusa, meskipun penurunannya tidak berlangsung dengan besaran yang sama pada setiap tingkat konsentrasi. Rata-rata jumlah koloni pada konsentrasi 60% sebesar $7,045 \times 10^7$ CFU/mL, kemudian turun menjadi $1,2925 \times 10^7$ CFU/mL pada konsentrasi 70%. Pada konsentrasi 80%, rata-rata jumlah koloni tercatat sebesar $1,08 \times 10^7$ CFU/mL, sedangkan konsentrasi 90% menghasilkan nilai terendah, yaitu $2,80 \times 10^6$ CFU/mL. Pola tersebut menggambarkan kecenderungan penurunan pertumbuhan *S. aureus* pada konsentrasi infusa yang lebih tinggi, dengan respons paling rendah secara deskriptif ditemukan pada konsentrasi 90%.

Perbandingan dengan kontrol memberikan gambaran mengenai respons bakteri terhadap kondisi pengujian. Kontrol negatif berupa aquadest menghasilkan rata-rata $7,94 \times 10^7$ CFU/mL,

sedangkan kontrol positif berupa ciprofloxacin tidak menghasilkan koloni pada seluruh replikasi. Kelompok infusa 60% memiliki jumlah koloni yang relatif mendekati kontrol negatif, sementara konsentrasi 70–90% memperlihatkan jumlah koloni yang lebih rendah daripada kontrol tersebut. Perbedaan antara kontrol dan kelompok perlakuan menunjukkan bahwa keberadaan infusa berkaitan dengan berkurangnya jumlah bakteri yang mampu membentuk koloni, tetapi temuan tersebut tidak dapat langsung diartikan sebagai eliminasi seluruh bakteri. Dengan demikian, hasil pengamatan awal lebih tepat menggambarkan adanya aktivitas antibakteri berupa reduksi pertumbuhan *S. aureus* pada rentang konsentrasi yang diuji.

Tabel 2. Statistik Deskriptif Jumlah Koloni *Staphylococcus aureus*

Konsentrasi	n Rata-rata (CFU/mL)	Median (CFU/mL)	Minimum (CFU/mL)	Maksimum (CFU/mL)
60%	4 7,045 × 10 ⁷	7,08 × 10 ⁷	6,46 × 10 ⁷	7,56 × 10 ⁷
70%	4 1,2925 × 10 ⁷	1,28 × 10 ⁷	1,06 × 10 ⁷	1,55 × 10 ⁷
80%	4 1,08 × 10 ⁷	1,11 × 10 ⁷	8,70 × 10 ⁶	1,23 × 10 ⁷
90%	4 2,80 × 10 ⁶	2,90 × 10 ⁶	1,30 × 10 ⁶	4,10 × 10 ⁶

Statistik deskriptif pada Tabel 2 memperlihatkan bahwa kelompok 60% memiliki nilai pusat dan rentang pengamatan tertinggi dibandingkan kelompok perlakuan lainnya. Penurunan yang cukup besar terlihat pada peralihan dari 60% ke 70%, sedangkan perubahan antara 70% dan 80% relatif kecil secara deskriptif. Pada konsentrasi 90%, nilai median maupun rentang pengamatan berada paling rendah, yang konsisten dengan kecenderungan penurunan jumlah koloni pada Tabel 1. Penyajian median dan rentang data juga memberikan informasi tambahan yang relevan karena analisis perbedaan antarkelompok selanjutnya menggunakan pendekatan nonparametrik. Oleh sebab itu, interpretasi hasil tidak hanya didasarkan pada nilai rata-rata, tetapi juga mempertimbangkan sebaran pengamatan pada masing-masing konsentrasi.

Penentuan Kadar Hambat Minimum (KHM) dan Kadar Bunuh Minimum (KBM) dilakukan berdasarkan kriteria operasional yang telah ditetapkan dalam metode penelitian. Hasil penanaman pada media NA masih memperlihatkan koloni pada seluruh konsentrasi infusa yang diuji, yaitu 60%, 70%, 80%, dan 90%. Dengan kondisi tersebut, konsentrasi terendah yang memenuhi kriteria tidak adanya pertumbuhan belum ditemukan dalam rentang perlakuan yang digunakan, sehingga KHM belum tercapai pada konsentrasi 60–90%. Hasil subkultur juga masih menunjukkan adanya pertumbuhan bakteri pada kelompok infusa sehingga tidak terdapat konsentrasi yang memenuhi kriteria KBM. Temuan tersebut membatasi interpretasi penelitian pada kemampuan infusa menurunkan jumlah pertumbuhan bakteri, bukan sebagai bukti bahwa infusa telah mencapai efek hambat atau bunuh secara total.

Tabel 3. Hasil Uji Normalitas dan Homogenitas Data

Pengujian	Dasar keputusan	Hasil	Interpretasi
Shapiro–Wilk	$p > 0,05$	$p > 0,05$ pada kelompok perlakuan	Tidak terdapat bukti penyimpangan distribusi yang signifikan
Levene	$p > 0,05$	$p = 0,003$	Varians antarkelompok tidak homogen

Analisis statistik dilakukan untuk menentukan apakah perbedaan jumlah koloni pada berbagai konsentrasi infusa memiliki signifikansi statistik. Uji Shapiro–Wilk menunjukkan nilai signifikansi di atas 0,05 pada kelompok perlakuan, sedangkan uji Levene menghasilkan nilai $p = 0,003$. Hasil tersebut menunjukkan bahwa asumsi homogenitas varians tidak terpenuhi, sehingga perbandingan antarkelompok tidak dilanjutkan menggunakan *one-way ANOVA*. Kondisi tersebut menjadi dasar penggunaan uji Kruskal–Wallis sebagai pendekatan nonparametrik untuk membandingkan distribusi jumlah koloni pada konsentrasi 60%, 70%, 80%, dan 90%. Pemilihan kelompok analisis difokuskan pada empat konsentrasi infusa, sedangkan kontrol positif dan negatif digunakan sebagai pembanding eksperimental terhadap respons pertumbuhan bakteri.

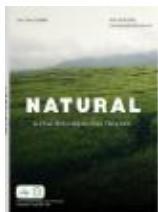
Analisis statistik dilakukan untuk menilai apakah perbedaan pertumbuhan *Staphylococcus aureus* antarperlakuan memiliki makna yang melampaui variasi hasil pengulangan. Pemilihan uji nonparametrik diperlukan karena hasil pemeriksaan prasyarat menunjukkan bahwa data tidak memenuhi asumsi homogenitas varians. Uji Kruskal–Wallis digunakan terlebih dahulu untuk menilai perbedaan secara keseluruhan pada kelompok konsentrasi infusa bawang hitam. Apabila perbedaan global teridentifikasi, analisis dilanjutkan melalui perbandingan berpasangan menggunakan uji Mann–Whitney untuk mengetahui pasangan kelompok yang memberikan respons berbeda. Ringkasan hasil analisis statistik dan interpretasinya disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Uji Kruskal–Wallis dan Perbandingan Berpasangan

Analisis	Perbandingan	Nilai p	Interpretasi
Kruskal–Wallis	60%, 70%, 80%, 90%	0,001	Terdapat perbedaan antarkelompok
Mann–Whitney	60% vs 70%	Sesuai output SPSS	Signifikan*
Mann–Whitney	60% vs 80%	Sesuai output SPSS	Signifikan*
Mann–Whitney	60% vs 90%	Sesuai output SPSS	Signifikan*
Mann–Whitney	70% vs 80%	0,248	Tidak signifikan
Mann–Whitney	70% vs 90%	Sesuai output SPSS	Signifikan*
Mann–Whitney	80% vs 90%	Sesuai output SPSS	Signifikan*

Uji Kruskal–Wallis menghasilkan nilai $p = 0,001$, sehingga terdapat perbedaan distribusi jumlah koloni yang signifikan setidaknya pada salah satu kelompok konsentrasi. Analisis dilanjutkan dengan perbandingan berpasangan untuk mengidentifikasi kelompok yang berkontribusi terhadap perbedaan tersebut. Hasil perbandingan menunjukkan adanya perbedaan antara konsentrasi 60% dengan 70%, 80%, dan 90%, serta antara konsentrasi 70% dan 90% maupun 80% dan 90%, sedangkan perbandingan 70% dan 80% tidak menunjukkan perbedaan signifikan dengan $p = 0,248$. Temuan tersebut memperlihatkan bahwa peningkatan konsentrasi tidak selalu menghasilkan perubahan yang signifikan pada setiap pasangan kelompok, khususnya pada rentang 70–80%. Oleh karena itu, pola penurunan jumlah koloni pada Tabel 1 perlu dipahami sebagai kecenderungan yang secara umum didukung oleh hasil uji statistik, tetapi tidak menunjukkan hubungan linear yang signifikan pada seluruh tingkat konsentrasi.

Secara keseluruhan, hasil penelitian memperlihatkan bahwa infusa bawang hitam menghasilkan penurunan jumlah koloni *S. aureus* dibandingkan dengan kontrol negatif, dengan jumlah koloni terendah ditemukan pada konsentrasi 90%. Perbedaan antarkonsentrasi juga terbukti signifikan secara keseluruhan melalui uji Kruskal–Wallis, meskipun tidak seluruh



pasangan konsentrasi menunjukkan perbedaan yang bermakna. Konsentrasi 70%, 80%, dan 90% belum menghasilkan kondisi tanpa pertumbuhan koloni pada hasil penanaman maupun subkultur, sehingga rentang konsentrasi yang digunakan belum memungkinkan penetapan KHM dan KBM berdasarkan kriteria operasional penelitian. Hasil tersebut menempatkan aktivitas infusa sebagai kemampuan untuk mereduksi pertumbuhan bakteri pada kondisi pengujian, sedangkan penetapan konsentrasi yang benar-benar menghambat atau membunuh bakteri memerlukan pengujian pada rentang konsentrasi yang lebih luas dan pelaporan hasil pengamatan KHM/KBM secara eksplisit. Dengan demikian, hasil penelitian memberikan dasar kuantitatif bahwa peningkatan konsentrasi infusa berkaitan dengan penurunan jumlah bakteri yang mampu membentuk koloni, tetapi kekuatan efek tersebut perlu ditafsirkan berdasarkan hasil uji berpasangan dan kriteria KHM/KBM yang digunakan.

Pembahasan

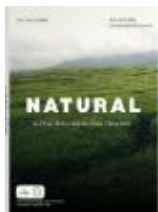
Aktivitas antibakteri infusa *black garlic* (*Allium sativum* L.) dalam penelitian ini lebih tepat dipahami sebagai kemampuan sediaan untuk menekan pertumbuhan *Staphylococcus aureus* daripada sebagai kemampuan menghilangkan bakteri secara keseluruhan. Pola jumlah koloni yang diperoleh memperlihatkan bahwa perubahan konsentrasi infusa berkaitan dengan perubahan respons pertumbuhan bakteri, meskipun kekuatannya tidak membentuk gradien yang sepenuhnya seragam. Karakter tersebut menjadi menarik karena *black garlic* bukan sekadar bentuk lain dari bawang putih segar, melainkan bahan yang mengalami perubahan komposisi kimia selama proses pematangan sehingga profil senyawa bioaktifnya ikut berubah. Rahmafitria dan Herdyastuti (2026) menjelaskan bahwa proses pembentukan *black garlic* menghasilkan berbagai komponen bioaktif yang berkontribusi terhadap aktivitas biologisnya, sedangkan Devi et al. (2026) menempatkan senyawa hasil proses *aging* sebagai salah satu dasar penting bagi bioaktivitas *black garlic*. Dengan demikian, penurunan jumlah koloni pada kelompok perlakuan dapat dibaca sebagai manifestasi aktivitas biologis kompleks dari komponen yang terekstraksi ke dalam infusa, bukan sebagai konsekuensi satu senyawa tunggal.

Salah satu aspek yang perlu diperhatikan adalah hubungan antara proses pengolahan bawang putih dan kemampuan antibakterinya. Cocom et al. (2025) menunjukkan bahwa bentuk bawang putih yang berbeda akibat pemrosesan dapat memiliki karakter antimikroba yang tidak identik, sehingga kondisi bahan dan teknik pengolahannya perlu ditempatkan sebagai bagian dari interpretasi hasil. Temuan Hue et al. (2022) juga memperlihatkan bahwa *single-bulb black garlic* memiliki karakteristik fisikokimia dan aktivitas biologis yang dapat mendukung pemanfaatannya sebagai sumber senyawa bioaktif. Perspektif tersebut membantu menjelaskan mengapa hasil penelitian dengan infusa berbasis air tidak dapat disamakan begitu saja dengan penelitian yang menggunakan ekstrak alkohol atau pelarut organik. Dalam penelitian ini, air berperan sebagai medium ekstraksi, sehingga respons *S. aureus* yang teramati merepresentasikan fraksi senyawa yang berhasil larut dan tetap aktif dalam kondisi tersebut. Perbedaan metode ekstraksi karenanya merupakan faktor metodologis yang penting ketika membandingkan besarnya aktivitas dengan penelitian terdahulu.

Secara kimiawi, kemampuan tersebut dapat dikaitkan dengan keberadaan kelompok senyawa bioaktif yang memiliki mekanisme kerja berbeda terhadap sel bakteri. Bhatwalkar et al. (2021) menguraikan bahwa senyawa organosulfur bawang putih dapat mengganggu berbagai proses penting pada bakteri, termasuk fungsi protein dan sistem metabolik yang mempertahankan integritas sel. Pada *black garlic*, proses pematangan juga mengubah komposisi senyawa sehingga komponen seperti *S-allylcysteine* dan kelompok senyawa fenolik menjadi bagian penting dalam pembahasan aktivitas biologisnya (Rahmafitria & Herdyastuti,

Copyright (c) 2025 NATURAL : Jurnal Ilmu Sains dan Terapan

 <https://doi.org/10.51878/natural.v1i2.15479>

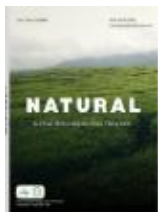


2026; Devi et al., 2026). Keberadaan flavonoid, fenolik, tanin, saponin, serta senyawa sulfur memungkinkan terjadinya interaksi pada lebih dari satu target seluler, meskipun penelitian ini tidak dirancang untuk mengidentifikasi kontribusi masing-masing komponen. Oleh karena itu, mekanisme yang dikemukakan sebaiknya diposisikan sebagai penjelasan yang mendukung interpretasi biologis, bukan sebagai pembuktian bahwa satu senyawa tertentu merupakan penyebab langsung penurunan koloni yang ditemukan.

Interpretasi tersebut memperoleh konteks yang lebih kuat ketika karakter bakteri uji ditempatkan dalam lingkungan ulkus diabetikum. *S. aureus* merupakan salah satu bakteri yang relevan dalam infeksi kaki diabetik, sementara keberadaan faktor virulensi dan kemampuan beradaptasi terhadap lingkungan infeksi dapat mempersulit pengendalian bakteri (Hawkins et al., 2022; Shahrokh et al., 2024). Persoalan tersebut menjadi semakin kompleks ketika isolat menunjukkan resistensi terhadap antimikroba yang lazim digunakan. Abalkhail dan Elbehiry (2022) mendokumentasikan persoalan MRSA pada infeksi kaki diabetik melalui karakteristik virulensi dan resistensinya, sedangkan Moya-Salazar et al. (2023) menunjukkan adanya peningkatan resistensi antibiotik pada infeksi kaki diabetik. Pada tingkat yang lebih luas, Zhou et al. (2024) juga melaporkan tingginya perhatian terhadap MRSA pada pasien dengan ulkus kaki diabetik. Dalam konteks demikian, kemampuan infusa *black garlic* untuk menurunkan jumlah koloni memiliki relevansi biologis sebagai indikasi awal potensi antibakteri, tetapi belum dapat diposisikan sebagai pengganti antibiotik klinis karena penelitian ini belum menguji efektivitas terapeutik pada kondisi infeksi yang sebenarnya.

Perbedaan respons antarkonsentrasi juga perlu dibaca secara hati-hati. Konsentrasi 60% menghasilkan jumlah koloni rata-rata paling tinggi di antara kelompok perlakuan, sedangkan konsentrasi 90% menghasilkan jumlah koloni paling rendah; namun, kedekatan respons antara 70% dan 80% memperlihatkan bahwa peningkatan konsentrasi tidak selalu menghasilkan perubahan yang secara statistik terpisah pada setiap tingkat. Hasil Mann–Whitney menunjukkan perbedaan bermakna pada pasangan 60%–70%, 60%–80%, 60%–90%, 70%–90%, dan 80%–90%, sedangkan pasangan 70%–80% tidak berbeda bermakna ($p = .248$). Pola ini justru memperkaya interpretasi karena memperlihatkan adanya kecenderungan peningkatan aktivitas pada konsentrasi yang lebih tinggi tanpa memberikan dasar yang cukup untuk menyebut hubungan tersebut sebagai *dose-response* linear. Variasi biologis antarulangan dan ukuran sampel yang terbatas ($n = 4$ per kelompok) dapat menjadi salah satu pertimbangan ketika dua konsentrasi berdekatan menghasilkan respons yang relatif serupa. Karena itu, temuan penelitian lebih tepat dinyatakan sebagai kecenderungan penurunan pertumbuhan *S. aureus* seiring peningkatan konsentrasi, dengan catatan bahwa pola tersebut masih memerlukan verifikasi melalui jumlah ulangan yang lebih besar dan rentang konsentrasi yang lebih rapat.

Hasil pengujian statistik memberikan dasar bahwa variasi konsentrasi tidak menghasilkan distribusi jumlah koloni yang setara secara keseluruhan. Uji Shapiro–Wilk memberikan nilai $p > .05$ pada kelompok perlakuan, tetapi uji Levene menghasilkan $p = .003$ sehingga asumsi homogenitas varians tidak terpenuhi; kondisi ini mendukung penggunaan pendekatan nonparametrik untuk membandingkan kelompok. Uji Kruskal–Wallis menghasilkan $p = .001$, yang menunjukkan adanya perbedaan distribusi jumlah koloni pada sedikitnya satu kelompok konsentrasi. Temuan tersebut tidak berarti bahwa setiap pasangan konsentrasi pasti berbeda, sebagaimana terlihat pada pasangan 70% dan 80% yang tidak mencapai signifikansi. Dengan demikian, makna statistiknya berada pada adanya perbedaan antarkelompok secara keseluruhan, sedangkan interpretasi pasangan harus ditempatkan secara terpisah dan mempertimbangkan koreksi terhadap pengujian berganda. Pendekatan ini lebih proporsional



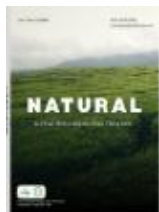
dibandingkan menyimpulkan bahwa setiap kenaikan konsentrasi secara otomatis menghasilkan peningkatan aktivitas antibakteri.

Keberadaan ciprofloxacin dan akuades sebagai kontrol turut membantu membaca posisi biologis hasil penelitian. Tidak ditemukannya koloni pada kontrol positif memperlihatkan bahwa kondisi pengujian mampu memperlihatkan respons hambatan yang kuat terhadap bakteri uji, sedangkan pertumbuhan pada kontrol negatif menunjukkan bahwa medium dan perlakuan dasar tidak dengan sendirinya menghilangkan bakteri. Meski demikian, respons infusa tidak layak disejajarkan dengan ciprofloxacin hanya berdasarkan perbandingan jumlah koloni karena keduanya memiliki karakter senyawa, target biologis, dan mekanisme antibakteri yang berbeda. Temuan resistensi pada isolat ulkus diabetikum sebagaimana dilaporkan oleh Abalkhail dan Elbehiry (2022), Moya-Salazar et al. (2023), dan Khan et al. (2026) semakin menegaskan bahwa pengujian bahan alam perlu ditempatkan dalam kerangka eksplorasi, bukan langsung sebagai klaim substitusi antibiotik. Dari sisi KHM dan KBM, keberadaan koloni pada seluruh konsentrasi 60–90% berarti konsentrasi yang diuji belum memberikan dasar untuk menetapkan KHM apabila kriterianya adalah konsentrasi terendah tanpa pertumbuhan yang terlihat. KBM juga belum diperoleh karena pertumbuhan masih ditemukan pada tahapan subkultur, sehingga bukti yang tersedia pada penelitian ini terutama mendukung adanya reduksi pertumbuhan bakteri, bukan kesimpulan bahwa infusa bersifat bakterisidal atau telah mencapai efek bakteristatik secara definitif. Temuan tersebut sekaligus menunjukkan ruang pengembangan penelitian berikutnya, terutama melalui penambahan rentang konsentrasi, peningkatan jumlah ulangan, pengukuran KHM secara langsung dalam media cair, pengujian KBM melalui subkultur, serta karakterisasi senyawa aktif yang bertanggung jawab terhadap aktivitas antibakteri.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, infusa bawang hitam (*black garlic*) menunjukkan aktivitas antibakteri terhadap *Staphylococcus aureus* yang diisolasi dari luka ulkus diabetes melitus. Aktivitas tersebut ditunjukkan oleh adanya kecenderungan penurunan pertumbuhan bakteri pada peningkatan konsentrasi infusa, dengan konsentrasi 90% menunjukkan jumlah koloni paling rendah dibandingkan konsentrasi perlakuan lainnya. Infusa bawang hitam lebih tepat diinterpretasikan memiliki aktivitas penghambatan terhadap pertumbuhan *S. aureus*, sedangkan Kadar Bunuh Minimum (KBM) belum diperoleh pada konsentrasi yang diuji karena masih ditemukan pertumbuhan koloni setelah subkultur. Apabila berdasarkan pengamatan visual pada media cair tidak ditemukan pertumbuhan pada konsentrasi 70%, maka konsentrasi tersebut dapat dinyatakan sebagai Kadar Hambat Minimum (KHM) dengan mencantumkan kriteria tersebut secara eksplisit. Dengan demikian, infusa bawang hitam berpotensi dikaji lebih lanjut sebagai kandidat antibakteri alami, tetapi hasil penelitian ini belum dapat dijadikan dasar untuk menyatakan efektivitas klinisnya.

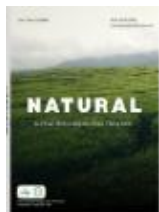
Penelitian ini memberikan gambaran awal mengenai potensi infusa bawang hitam sebagai bahan antibakteri terhadap *S. aureus* isolat luka ulkus diabetes melitus melalui pendekatan eksperimental laboratorik. Ketidadaan KBM pada rentang konsentrasi yang digunakan menunjukkan perlunya pengujian pada konsentrasi yang lebih luas untuk memperoleh gambaran aktivitas antibakteri yang lebih komprehensif. Penelitian selanjutnya disarankan meningkatkan rentang konsentrasi infusa hingga 100%, mengoptimalkan proses preparasi dan metode ekstraksi, serta menerapkan prosedur penentuan KHM dan KBM yang lebih terstandar. Penggunaan metode ekstraksi yang berbeda juga dapat dibandingkan untuk mengetahui metode yang paling mampu mempertahankan atau memperoleh senyawa bioaktif bawang hitam. Hasil



penelitian lanjutan tersebut diharapkan dapat memperjelas potensi antibakteri bawang hitam sebelum dikembangkan menuju pengujian yang lebih aplikatif.

DAFTAR PUSTAKA

- Abalkhail, A., & Elbehiry, A. (2022). Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* in diabetic foot infections: Protein profiling, virulence determinants, and antimicrobial resistance. *Applied Sciences*, 12(21), 10803. <https://doi.org/10.3390/app122110803>
- Ahmed, T., & Wang, C. K. (2021). Black garlic and its bioactive compounds on human health diseases: A review. *Molecules*, 26(16), 5028. <https://doi.org/10.3390/molecules26165028>
- Alimurdianis, Brisma, S., Faiza Zubir, A., Zulkarnaini, A., & Anissa, M. (2024). Gambaran penderita ulkus diabetikum yang menjalani tindakan operasi. *Scientific Journal*, 3(4), 232–240. <https://doi.org/10.56260/sciena.v3i4.151>
- Alzamani, L., Marbun, M., Purwanti, M., Salsabilla, R., & Rahmah, S. (2022). Ulkus kronis: Mengenali ulkus dekubitus dan ulkus diabetikum. *Jurnal Syntax Fusion*, 2(2), 272–286. <https://doi.org/10.54543/fusion.v2i02.153>
- Bhatwalkar, S. B., Mondal, R., Krishna, S. B. N., Adam, J. K., Govender, P., & Anupam, R. (2021). Antibacterial properties of organosulfur compounds of garlic (*Allium sativum*). *Frontiers in Microbiology*, 12, 613077. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.613077>
- Cocom, L. M., Wang, H. C., Tseng, K. C., & Chu, Y. L. (2025). The antimicrobial and antioxidant properties of raw, aged, and fermented garlic: Influence of processing methods. *Food Science & Nutrition*, 13(8), e70743. <https://doi.org/10.1002/fsn3.70743>
- Devi, R., Nishal, S., Kumar, D., Kumar, V., & Khatri, N. (2026). A review of the effects of bioactive compounds in aged black garlic on human health issues. *Current Functional Foods*, 4(3), E26668629371008. <https://doi.org/10.2174/0126668629371008250622221656>
- Hawkins, B. K., Barnard, M., Barber, K. E., Stover, K. R., Cretella, D. A., Wingler, M. J. B., & Wagner, J. L. (2022). Diabetic foot infections: A microbiologic review. *The Foot*, 51, 101877. <https://doi.org/10.1016/j.foot.2021.101877>
- Hue, C. T., Tan, L. Q., Van Hung, H., Le, Q. T. N., Nguyen, T. H., Huong, N. T. L., ... Trinh, D. K. (2022). Assessment of the physicochemical properties and biological activity of Vietnamese single-bulb black garlic. *Food Bioscience*, 49, 101866. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101866>
- Isna, M. K., Yasinta, N., Aliyah, A. N., & Dian, E. E. (2021). Kajian efektivitas ekstrak black garlic (*Allium sativum* Linn.) sebagai gel pada ulkus diabetik. *National Conference PKM Center Sebelas Maret University*, 177–182. <https://jurnal.uns.ac.id/pkmcenter/article/view/51349>
- Khan, A. A., Imdad, K., Khan, J., Khan, M. N., Ali, I., Dabiellil, M., ... Hassan, H. M. (2026). Clinical, phenotypic and genotypic antimicrobial resistance profile of diabetic foot ulcer-associated bacterial isolates. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/s41598-026-61198-y>
- Kristiananda, D., Allo, J. L., Widayrahma, V. A., Lusiana, L., Noverita, J. M., Octa Riswanto, F. D., & Setyaningsih, D. (2022). Aktivitas bawang putih (*Allium sativum* L.) sebagai agen antibakteri. *Jurnal Ilmu Farmasi dan Farmasi Klinik*, 19(1), 46. <https://doi.org/10.31942/jiffk.v19i1.6683>
- Mandge, H. M., Rehal, J., Goswami, D., Choudhary, A., & Kaur, P. (2026). Unraveling phytochemistry and biofunctionality of black garlic: A systematic review. *Food Science and Biotechnology*, 35(3), 443–461. <https://doi.org/10.1007/s10068-025-01951-7>



- Moya-Salazar, J., Chamana, J. M., Porras-Rivera, D., Goicochea-Palomino, E. A., Salazar, C. R., & Contreras-Pulache, H. (2023). Increase in antibiotic resistance in diabetic foot infections among Peruvian patients: A single-center cross-sectional study. *Frontiers in Endocrinology*, 14, 1267699. <https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1267699>
- Muharram, L. H., Syaputri, F. N., Pertiwi, W., & Saputri, R. F. (2022). Aktivitas antibakteri ekstrak bawang hitam variasi waktu aging terhadap pencegahan dysbiosis kulit penyebab jerawat. *Jurnal Sains dan Kesehatan*, 4(2), 181–188. <https://jsk.ff.unmul.ac.id/index.php/JSK/article/view/380>
- Rahmafritia, F. L., & Herdyastuti, N. (2026). Black garlic: Kandungan senyawa bioaktif dan bioaktivitasnya. *Unesa Journal of Chemistry*, 15(3), 97–111. <https://doi.org/10.26740/ujc.v15n3.p97-111>
- Sasmaz, H. K., Uzlasir, T., Selli, S., & Kelebek, H. (2025). Black garlic: Production process, bioactive compounds, and health effects. *Food Chemistry International*, 1(1), 24–30. <https://doi.org/10.1002/fci2.70002>
- Senneville, É., Albalawi, Z., Van Asten, S. A., Abbas, Z. G., Allison, G., Aragón-Sánchez, J., ... Peters, E. J. (2024). IWGDF/IDSA guidelines on the diagnosis and treatment of diabetes-related foot infections (IWGDF/IDSA 2023). *Diabetes/Metabolism Research and Reviews*, 40(3), e3687. <https://doi.org/10.1002/dmrr.3687>
- Shahrokh, S., Tabatabaee, A., Yazdi, M., & Siavash, M. (2024). Proportion of toxin and non-toxin virulence factors of *Staphylococcus aureus* isolates from diabetic foot infection: A systematic review and meta-analysis. *BMC Microbiology*, 24(1), 1. <https://doi.org/10.1186/s12866-023-03142-y>
- Vecchi, V., Sabbioni, G., Altieri, M. T., Breveglieri, G., Costa, S., Marchetti, F., ... Borgatti, M. (2025). Black garlic: Evolution of the chemical composition and broad biological activities. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 73(44), 27933–27949. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5c09705>
- Vinayagam, R., Eun Lee, K., Ambati, R. R., Gundamaraju, R., Fawzy Ramadan, M., & Gu Kang, S. (2023). Recent development in black garlic: Nutraceutical applications and health-promoting phytoconstituents. *Food Reviews International*, 39(6), 3534–3554. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.2012797>
- Zhou, S., Hu, X., Wang, Y., Fei, W., Sheng, Y., & Que, H. (2024). The global prevalence of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* in patients with diabetic foot ulcers: A systematic review and meta-analysis. *Diabetes, Metabolic Syndrome and Obesity*, 17, 563–574. <https://doi.org/10.2147/DMSO.S446911>