

Tinjauan Literatur: Perkembangan Nanopartikel Bawang Putih Hitam Sebagai Antioksidan Topikal Anti-Penuaan

Literature Review: Development of Black-Garlic Nanoparticles as Topical Anti-Aging Antioxidants

Dita Amelia Ihsani^{1*}, Efri Mardawati², Anis Yohana Chaerunisaa³

^{1,2}Prodi Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Industri Pertanian,
Universitas Padjadjaran, Indonesia

³Departemen Farmasi, Fakultas Farmasi, Universitas Padjadjaran, Indonesia

*Email: dita22002@mail.unpad.ac.id

ABSTRAK

Paparan sinar UV-B dapat menurunkan jumlah kolagen yang berpotensi penuaan dini pada kulit. Bawang putih hitam mengandung senyawa aktif seperti *S-allyl cysteine* (SAC), fenolik, dan flavonoid yang berpotensi menetralkan radikal bebas penyebab penuaan kulit. Keterbatasan terkait stabilitas penghantaran senyawa aktif bawang putih hitam sehingga diperlukan pengembangan seperti teknologi nanopartikel untuk efektivitas penghantaran senyawa bioaktif. Penelitian ini bertujuan untuk meninjau perkembangan teknologi nanopartikel bawang putih hitam sebagai antioksidan alami dalam aplikasi kosmetik topikal anti-penuaan. Metode yang digunakan berupa *Systematic Literature Review* (SLR) berupa analisis bibliometrik pada berbagai artikel ilmiah mengenai topik yang relevan. Hasil kajian menunjukkan perkembangan yang baik pada penggunaan aplikasi nanopartikel bawang putih dalam topikal kosmetik anti-penuaan. Kandungan SAC 5-6 kali, serta kadar fenolik dan flavonoid lebih tinggi dibandingkan bawang putih segar yang berkontribusi pada aktivitas antioksidan kuat yaitu IC_{50} sebesar 13-32,8 ppm. Peningkatan stabilitas penghantaran senyawa aktif melalui teknologi seperti *Nanostructured Lipid Carrier* (NLC) dalam aplikasi serum menunjukkan aktivitas senesensi dan inhibisi MMP-1 dan MMP-2, selain itu pemanfaatan teknologi nanopartikel perak bawang putih hitam memiliki aktivitas antioksidan IC_{50} sebesar 21,16 ppm dan diaplikasikan dalam sediaan masker gel peel-off. Perspektif masa depan dapat dipertimbangkan untuk melaksanakan studi inovatif lebih lanjut terkait potensi bawang putih hitam sebagai bahan aktif topikal anti-penuaan.

Kata kunci : antioksidan, bawang putih hitam, nanopartikel, penuaan kulit, topikal

ABSTRACT

UV-B radiation can reduce collagen levels and accelerate premature skin aging. Black garlic contains bioactive compounds, including S-allyl cysteine (SAC), phenolics, and flavonoids, which exhibit antioxidant properties capable of neutralizing free radicals associated with skin aging. However, the limited stability and delivery of these compounds necessitate the development of nanoparticle-based systems to enhance their effectiveness. This study reviews the development of black garlic nanoparticle technology as a natural antioxidant for topical anti-aging applications using a Systematic Literature Review (SLR) and bibliometric analysis of relevant scientific publications. The results indicate promising advances in the application of black garlic nanoparticles in topical anti-aging cosmetics. Compared with fresh garlic, black garlic contains 5–6 times higher SAC levels and greater phenolic and flavonoid contents, contributing to strong antioxidant activity with IC_{50} values of 13–32.8 ppm. Nanostructured Lipid Carrier (NLC) systems have improved the stability and delivery of active compounds, demonstrating anti-senescent effects and inhibition of MMP-1 and MMP-2 in serum formulations. Additionally, black garlic silver nanoparticles exhibit antioxidant activity (IC_{50} 21.16 ppm) and have been incorporated into peel-off gel mask formulations. Further innovative studies are needed to optimize the potential of black garlic as a topical anti-aging active ingredient.

Keywords : antioxidants, black garlic, nanoparticle, skin aging, topical

PENDAHULUAN

Penuaan wajah (*photoaging*) dapat

terjadi akibat paparan sinar UV matahari

berlebihan yang membentuk dampak

kumulatif dari berbagai faktor seperti stres oksidatif yang mempercepat perubahan degeneratif pada sel-sel kulit. Sinar UV memiliki daerah spektrum elektromagnetik, yang terdiri dari tiga jenis yaitu UV A sebesar 320-400 nm, UV B sebesar 290-320 nm, dan UV C sebesar 200-290 nm (Rozqiah, et al., 2023). Paparan berlebihan dari radiasi UV A dapat menyebabkan penumpukan pigmen melanin yang menimbulkan warna coklat pada kulit (*tanning*) tanpa menimbulkan kemerahan, namun energinya lemah karena panjang gelombang yang panjang yang menyebabkan tidak berdampak fatal terhadap kulit. Radiasi UV B tidak seluruhnya disaring oleh lapisan ozon, sehingga dapat menimbulkan kulit wajah terasa panas terbakar (*sunburn*) yang dapat menyebabkan iritasi kemerahan (eritema), penuaan dini pada wajah (*photoaging*), dan efek berbahaya lainnya yaitu menimbulkan kanker kulit. Di sisi lain, radiasi UV C tidak diemisikan ke bumi karena dapat disaring oleh atmosfer, dan panjang gelombangnya yang pendek memudahkan sinar UV C diserap uap air, oksigen, dan karbon dioksida. Paparan sinar UV B memberikan dampak yang serius terutama penyebab kanker kulit dan penuaan dini kulit wajah (*photoaging*) (Adzhani, et al., 2022).

Penuaan akibat paparan sinar UV khususnya sinar UV B dari matahari ditandai dengan kerutan yang lebih dalam, kelonggaran kulit, hiperpigmentasi, dan hilangnya elastisitas. Kasus yang lebih parah adalah kanker kulit. Berdasarkan data yang dilaporkan oleh Ke dan Wang (2021) bahwa 90% kasus kanker kulit disebabkan oleh *photoaging* yang mewakili masalah kesehatan masyarakat global. Pada data lain yang ditemukan menurut Ferlay, et al. (2024), bahwa pertumbuhan kasus kanker kulit di Indonesia pada 5 tahun terakhir tercatat memiliki tingkat prevalensi sebesar 1,9 per 100.000 penduduk dengan total 5.245 kasus. Pemicu utama dampak tersebut terjadi karena ketidakseimbangan antara pembentukan spesies oksigen reaktif (ROS) dan kemampuan tubuh untuk menetralkannya dengan antioksidan.

Pemahaman yang semakin berkembang tentang dampak negatif stres oksidatif terhadap kesehatan kulit yang memperkuat minat terhadap formulasi kosmetik yang diperkaya dengan senyawa antioksidan yang bersumber dari bahan alami. Seiring dengan kemajuan di bidang kosmetologi, permintaan akan bahan baku dengan sifat antioksidan yang berasal dari sumber alami semakin meningkat. Senyawa alami ini dihargai karena kemampuannya dalam menetralkan ROS, yang dapat melindungi kulit dari

kerusakan oksidatif (Fernandes, et al., 2023).

Black garlic merupakan salah satu bahan alami yang mengandung antioksidan kuat. *Black garlic* diproduksi dari bawang putih segar yang mengalami proses pemanasan pada suhu dan kelembaban terkendali dalam waktu minimal 10 hari (Sailah, et al., 2021). Kandungan senyawa fenolik pada *black garlic* dapat menstabilkan radikal bebas melalui pendonoran elektron pada elektron yang tidak berpasangan membentuk *intermediate* radikal bebas yang stabil. *Black garlic* mengandung senyawa bioaktif, seperti, fenol, flavonoid, piruvat, tiosulfat, *S-allylcysteine* (SAC) dan *S-allylmercaptocysteine* (SAMC) (Pramitha, et al., 2020). *Black garlic* dengan pemanasan atau pemeraman selama 30 hari meningkatkan kadar senyawa fenolik hingga 46,27 mg GAE/g dan aktivitas antioksidan IC_{50} mencapai 4,67 ppm yang termasuk kategori sangat kuat yang lebih tinggi dibandingkan bawang putih segar dengan kandungan total fenolik mencapai 16,88 mg GAE/g dan aktivitas antioksidan mencapai 23,88 ppm yang termasuk kategori sangat kuat, namun *black garlic* memiliki aktivitas antioksidan yang lebih kuat daripada bawang putih segar (Binici, et al., 2025). Penemuan tersebut menunjukkan bahwa *black garlic* memiliki aktivitas

antioksidan yang lebih tinggi karena nilai IC_{50} yang lebih kecil dan kemampuan yang lebih baik dalam menangkal radikal bebas akibat sinar UV karena kandungan senyawa fenolik yang dimiliki lebih tinggi daripada bawang putih segar.

Sebagian besar senyawa bioaktif pada ekstrak *black garlic* diketahui mudah terdegradasi saat terkena kondisi panas, cahaya, oksigen, kondisi lingkungan ekstrem, sehingga diperlukan pengecilan ukuran partikel untuk memperluas permukaan zat aktif sehingga lebih terjaga stabilitasnya dan meningkatkan efektivitas penyerapan zat aktif terhadap kulit (Doronio, et al., 2022). Teknologi nanopartikel banyak dikembangkan untuk pengecilan ukuran bahan aktif hingga ukuran nanometer sebagai solusi untuk meningkatkan efektivitas stabilitas, kelarutan, penyerapan, dan pelepasan senyawa bioaktif yang berbasis dari bahan alam (Yusuf, et al., 2023). Kelebihan dari nanopartikel terletak pada efektivitasnya dalam pelepasan terkendali dari senyawa bioaktif kepada target tanpa terjadinya degradasi parah dari senyawa bioaktif akibat pengaruh lingkungan (Bajpai, et al., 2018).

Pemanfaatan senyawa antioksidan dari *black garlic* sering dikaitkan dengan olahan pangan, suplemen oral, obat farmasi, dan minuman herbal fungsional. Berdasarkan hal tersebut, pembahasan

terkait penggunaan *black garlic* yang dibuat menjadi nanomaterial atau nanopartikel serta aplikasinya sebagai bahan aktif dalam kosmetikal masih relatif terbatas dan belum banyak dirangkum secara komprehensif. Kondisi tersebut menjadi peluang meskipun begitu kandungan senyawa dalam *black garlic* selaras dengan manfaat yang diperlukan dalam aplikasi kosmetik. Hadirnya kosmetik topikal merupakan cara baru dan non-invasif untuk merevitalisasi kulit yang rusak akibat paparan sinar matahari. Dengan demikian, tujuan dari penelitian ini adalah untuk meninjau perkembangan terkait penggunaan teknologi nanopartikel *black garlic* sebagai antioksidan alami dalam aplikasi kosmetik topikal anti-penuaan.

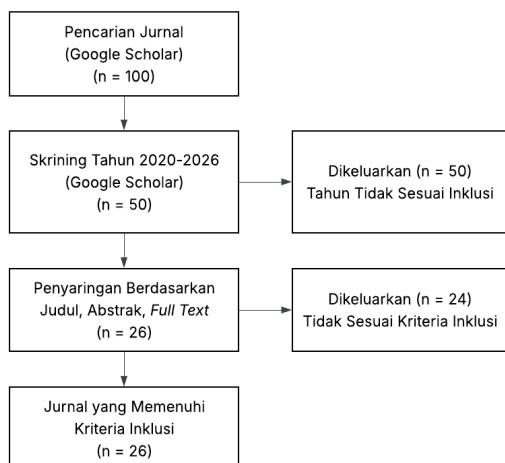
METODE PENELITIAN

Pengumpulan Data

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *Systematic Literature Review* (SLR) mengenai potensi *black garlic* sebagai antioksidan topikal anti-aging. Pencarian literatur dilakukan pada beberapa *database* ilmiah seperti (*Google Scholar*, *PubMed*, *ScienceDirect*) dengan menggunakan kombinasi *keywords* tertentu sebagai inklusi, yaitu “*black garlic*”, “nanopartikel”, “*anti-aging*”, “antioksidan”, “formulasi topikal”,

“fenolik”.

Kriteria inklusi dalam penelitian ini meliputi artikel yang telah diterbitkan dengan rentang waktu antara tahun 2020 hingga 2026 menggunakan dua bahasa yaitu bahasa indonesia dan bahasa inggris, serta membahas topik utama terkait *black garlic*, nanoteknologi, dan aktivitas antioksidan atau anti-penuaan. Sementara itu, kriteria eksklusi mencakup terjadinya *double* atau artikel duplikat, artikel tanpa akses full text, serta artikel yang tidak relevan dengan topik penelitian. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari hasil penelitian terdahulu. Proses seleksi dilakukan dengan beberapa tahap yaitu meliputi identifikasi, *screening* berdasarkan judul dan abstrak, evaluasi full text, serta seleksi akhir. Artikel yang telah terkumpul keseluruhan dari sebanyak 100 jurnal yang ditemukan, dilakukan tahap penyaringan dan hasil akhir yang memenuhi syarat sesuai kriteria inklusi ada sebanyak 26 artikel dengan gambaran diagram yang disajikan pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram Proses Seleksi Artikel

Analisis Bibliometrik

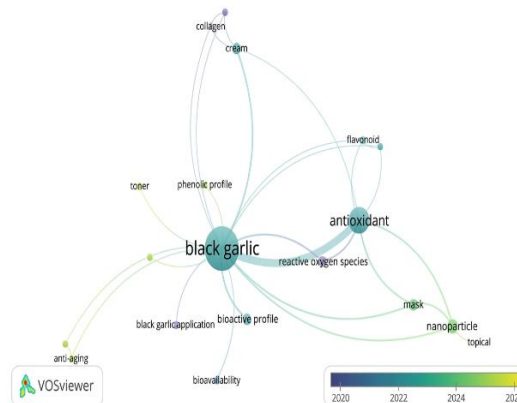
Artikel yang terpilih sebagai portofolio akhir dianalisis secara bibliometrik dengan membuat peta jaringan visual menggunakan software VOSviewer v1.6.20 dengan kondisi analisis yaitu *co-occurrence* (kemunculan bersamaan) dengan unit analisis berupa kata kunci (*keywords*). Batas minimum kemunculan kata kunci ditetapkan sebanyak 2 kali, dengan seluruh istilah yang memenuhi kriteria dimasukkan ke dalam analisis dan ditampilkan sebagai total item. Hasil analisis divisualisasikan dalam bentuk peta jaringan untuk melihat tren penelitian.

Peta jaringan visual yang dihasilkan dari hasil portofolio 26 dokumen yang diolah dalam perangkat VOSviewer digunakan untuk memetakan keterkaitan kata kunci, mengidentifikasi tema penelitian yang dominan, dan mengevaluasi arah perkembangan penelitian terkait *black garlic*,

nanopartikel, antioksidan, dan anti-penuaan. Hasil analisis bibliometrik kemudian digunakan sebagai referensi untuk melakukan tinjauan sistematis singkat dalam penelitian ini, dan hal ini membuat pembahasan menjadi lebih terfokus serta meminimalkan bias penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada gambar 2 berikut menggambarkan peta jaringan visual dari portofolio akhir yang diperoleh. Perkembangan penggunaan *black garlic* dapat diilustrasikan melalui peta ini seperti pada studi tahun 2025 yang mengarah pada aplikasi topikal anti-aging yang menjadi mekanisme penting dalam pencegahan penuaan kulit wajah.



Gambar 2. Peta Jaringan Visual Potensi Bawang Putih Hitam Sebagai Antioksidan Topikal Anti-aging

Kandungan Bioaktif *Black Garlic*

Berdasarkan hasil ilustrasi pada gambar 2 tersebut menunjukkan bahwa *black garlic* lebih banyak dikaitkan pada

antioksidan dari senyawa bioaktif yang terkandung di dalamnya. *Black garlic* diperoleh melalui proses fermentasi termal dengan suhu 60-90°C dan kelembaban berkisar antara 70-90% pada waktu minimal 10 hari. Proses *aging* atau pemanasan tersebut dapat menyebabkan adanya reaksi Maillard yang memberikan perubahan aroma, rasa, dan warna pada *black garlic*. Reaksi tersebut melibatkan 3 tahap yaitu meliputi tahap pertama disebut juga dengan tahap kondensasi gugus amina dan gugus gula karena pemanasan, tahap kedua disebut tahap dehidrasi karena terjadi perubahan warna *black garlic* menjadi warna coklat, tahap terakhir terjadi perubahan warna menjadi hitam karena pembentukan polifenol dan *Hydroxymethyl 2-furfuraldehid* (Li, et al., 2020). *Black garlic* memiliki aroma yang tidak menyengat dibandingkan bawang putih, karena zat allicin penyebab aroma menyengat akan dikonversi menjadi antioksidan selama proses fermentasi (Dampati, et al., 2020). Selama proses pemanasan *black garlic*, senyawa allisin yang terkandung dalam *black garlic* berubah menjadi senyawa antioksidan seperti *S-allylcysteine* (SAC), alkaloid, dan flavonoid. Senyawa yang berfungsi sebagai antioksidan pada *black garlic* di antaranya adalah *S-allyl cysteine* (SAC), senyawa fenolik, dan flavonoid. Kandungan *S-allyl cysteine* (SAC) dalam

black garlic dapat mengalami peningkatan hingga mencapai 5-6 kali lebih tinggi daripada bawang putih yang masih segar. Dalam bawang putih segar terdapat *γ-glutamyl-S-allylcysteine* (GSAC) yang dapat dihidrolisis dan dioksidasi menjadi alliin, sedangkan alliin akan dikonversi menjadi allicin oleh enzim allinase melalui proses seperti pemotongan, pemanasan, penghancuran, sehingga dari proses tersebut akan merubah *γ-glutamyl-S-allylcysteine* (GSAC) menjadi *S-allyl cysteine* (SAC). *S-allyl cysteine* (SAC) merupakan senyawa organosulfur utama yang memiliki aktivitas antioksidan yang tinggi dan berpotensi dalam menetralkan radikal bebas pembentuk *Reactive Oxygen Species* (ROS), sehingga dapat membantu mencegah terjadinya kerusakan oksidatif pada protein, lipid, dan komponen matriks ekstraseluler kulit (Azhar, et al., 2021; Yusharyahya, 2021). Terdapat perbandingan kadar nutrisi dan komposisi senyawa bioaktif antara bawang putih segar dan *black garlic* pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Perbandingan komponen bawang putih majemuk dan *black garlic*

Komponen	<i>Garlic</i>	<i>Black Garlic</i>	Ref
Lemak (%)	0,2	0,60	[1]
Karbohidrat (g/100 g)	22,91	46,6	[1]
Protein (%)	0,9	1,2	[1]
Asam amino (mg/g)	19,43	14,86	[1]
Vitamin (g/kg)	6,92	9,26	[1]
Mineral (g/kg)	11,74	13,14	[1]
Piruvat (mmol/100g)	49,05	264,02	[1]
Polifenol (mg/g)	13,91	35,28	[2]
Flavonoid (mg/g)	3,22	8,34	[2]

Sumber: [1] Zulfikar, et al. (2025) dan [2] Ahmed, et al. (2021)

Kandungan senyawa polifenol pada *black garlic* selama proses *aging* 14 hari diperoleh sekitar 35,28 mg GAE/g lebih tinggi daripada kadar bawang putih segar sebesar 13,91 mg GAE/g (Choi, et al., 2014). *Black garlic* majemuk menunjukkan kandungan senyawa fenolik lebih tinggi dibandingkan pada *black garlic* tunggal. Kandungan fenolik total optimal pada waktu pemanasan selama 10 hari dengan kadar *black garlic* majemuk dan tunggal masing-masing sebesar 5,62% w/w GAE atau setara 56,2 mg GAE/g dan 4,19% w/w GAE atau setara 41,9 mg GAE/g. Kandungan flavonoid total pada *black garlic* majemuk optimal pada waktu pemanasan hari ke-10 yaitu sebesar 25,12% w/w QE atau setara 25,12 g QE/100 g, sedangkan kandungan flavonoid *black garlic* tunggal optimal pada hari ke-15 yaitu sebesar 17,98% w/w QE atau setara 17,98 g QE/100 g (Krisnawan, et al., 2022).

Senyawa fenolik yang terdapat dalam *black garlic* berhasil teridentifikasi menggunakan metode sentrifugasi dan uji komponen HPLC pada hasil penelitian untuk senyawa fenolik yang dilakukan oleh Sheir, et al. (2025) yang disajikan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Komponen senyawa fenolik dalam *black garlic*

Komponen	Konsentrasi	
	ppm	mg/g
Asam klorogenat	156,4	0,156
Asam kafeat	70,2	0,072
Asam galat	109,6	0,109
Asam ferulat	7,3	0,007
Asam p-kumarat	224,1	0,224

Sumber: Sheir, et al. (2025)

Jenis senyawa fenolik dengan kadar tertinggi dalam *black garlic* ada pada p-kumarat sebesar 224,1 ppm, sedangkan untuk kadar terendah adalah asam ferulat sebesar 7,3 ppm. Kandungan senyawa antioksidan lain seperti flavonoid yang dianalisis melalui metode *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) yang dilaporkan oleh Sheir, et al. (2025) bahwa terdapat 6 jenis flavonoid yang terkandung dalam *black garlic* yang tercantum pada Tabel 3 yang diperoleh bahwa kuersetin memiliki kadar tertinggi yaitu sebesar 271,4 ppm, sedangkan kadar terendah ditemukan pada epikatekin sebesar 35,6 ppm.

Tabel 3. Komponen senyawa flavonoid dalam *black garlic*

Komponen	Konsentrasi	
	ppm	mg/g
Katekin	106,5	0,106
Epigallokatekin galat	46	0,046
Epikatekin	35,6	0,035
Kuersetin	271,4	0,271
Mirisetin	39,8	0,039
Kaempferol	81,2	0,081

Sumber: Sheir, et al. (2025)

Jumlah senyawa lain yaitu organosulfur seperti *S-allylcysteine* (SAC) dalam *black garlic* dapat mengalami peningkatan hingga mencapai 5-6 kali lebih tinggi daripada bawang putih yang masih segar (Azhar, et al., 2021). *S-allylcysteine* (SAC) dihasilkan dari dekomposisi alliin melalui proses *aging* pada *black garlic* yang telah mengubah senyawa sulfur volatil menjadi SAC yang lebih stabil dan larut dalam air. Berikut terdapat perbandingan jumlah kandungan senyawa organosulfur antara bawang putih majemuk dan *black garlic* dari hasil penelitian Zulfikar et al. (2025) pada waktu *aging* selama 15 hari dengan suhu 80°C yang disajikan pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Komponen senyawa organosulfur dalam *black garlic*

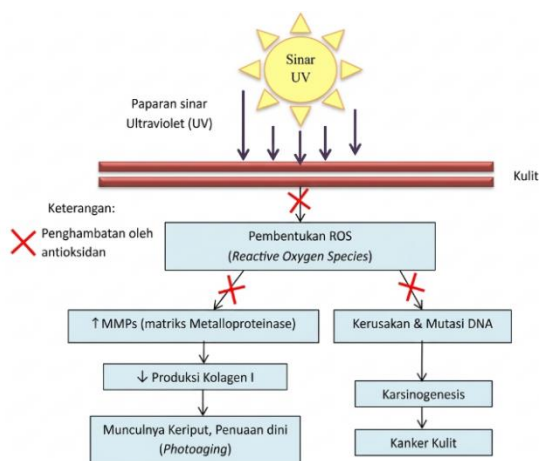
Komponen	Konsentrasi	
	ppm	mg/g
<i>Allicin</i> (g/kg)	3,18	<i>n.d</i>
<i>Alliin</i> (g/kg)	11,28	2,31
<i>S-allyl cysteine</i> (µg/g)/SAC	19,61	105,07
<i>Allyl sulfide</i> (µg/g)	<i>n.d</i>	53,93
<i>Diallyl disulphide</i> (µg/g)	591,67	62,84
<i>Alliin</i> (g/kg)	3,18	<i>n.d</i>

Sumber: Zulfikar, et al. (2025)

Mekanisme Antioksidan Sebagai Anti-Penuaan Kulit

Kandungan antioksidan dalam *black garlic* memiliki kemampuan yang baik dalam menetralkan radikal bebas seperti yang dilaporkan pada penelitian Putriana, et al. (2022) bahwa aktivitas antioksidan dari ekstrak etanol *black garlic* yang telah mengalami pemeraman atau *aging* selama 21 hari dapat mencapai IC₅₀ sebesar 32,8 ppm yang tergolong sangat kuat. Studi lain oleh Azhar, et al. (2021) menyebutkan bahwa ekstrak etanol *black garlic* dengan perlakuan *aging* selama 28 hari diperoleh nilai IC₅₀ sebesar 13 ppm yang tergolong sangat kuat. Senyawa fenolik menjadi komponen penyusun dalam fungsinya sebagai antioksidan dengan mereduksi melalui penyumbangan atom hidrogen pada radikal bebas (Pramitha, et al., 2020). Senyawa lain yang terkandung dalam *black garlic* seperti quersetin bagian flavonoid dapat mengurangi melanogenesis dan hiperpigmentasi kulit

karena gugus kromofor senyawa tersebut dapat menyerap sinar UV sehingga mengurangi penumpukan pigmen melanin pada kulit dan mencegah kerusakan DNA dan pembentukan *Reactive Oxygen Species* (ROS). Adanya penghambatan terbentuknya ROS dapat mencegah pembentukan MMP-1 dan aktivitas MAP-kinase sehingga menghambat degradasi kolagen tipe I dan mencegah penuaan dini (*photoaging*) (Wasliati, et al., 2019). Berikut gambaran mekanisme peran antioksidan dari *black garlic* sebagai anti-penuaan yang disajikan pada gambar 2 berikut.



Gambar 3. Mekanisme peran antioksidan dalam *black garlic* sebagai anti-aging
 Sumber: (Dampati, et al., 2020).

Reactive Oxygen Species (ROS) dapat terbentuk karena efek dari sinar UV dan hasilnya dapat menimbulkan stres oksidatif, sehingga akan terjadi aktivasi dari penerima (reseptor) permukaan sel seperti *TGF β receptor* dan *cytokine receptor*, sehingga adanya aktivasi

tersebut dapat menyebabkan terjadinya peningkatan sinyal transduksi intraseluler, kemudian c-jun dan c-fos juga turut meningkat. Dampak lain seperti *activator protein-1* (AP-1) akan meningkat, sehingga dapat menghambat cara kerja integrasi matriks ekstrasel yang biasanya bekerja dengan menginduksi *matriks metalloproteinase* (MMPs) sebagai enzim yang mendegradasi kolagen seperti utamanya MMP-1 (kolagenase), sehingga akan mempengaruhi kapasitas dari kolagen dalam dermis. Adanya paparan sinar UV berlebihan dapat membentuk MMPs terutama gelatinase dan kolagenase yang menimbulkan penurunan kadar kolagen pada lapisan dermis (Wasliati, et al., 2019).

Jumlah kolagen yang semakin menipis di lapisan dermis akan menimbulkan terbentuk *garis* atau kerutan halus yang dinamakan keriput (*wrinkle*). Keriput adalah tanda yang seringkali terlihat secara langsung akibat dampak negatif dari sinar UV matahari (*photoaging*) (Wasliati, et al., 2019). Dalam penanganan tersebut, peran antioksidan sangat berpengaruh dalam mencegah *photoaging*. Antioksidan dalam *black garlic* seperti fenolik, flavonoid, dan kadar SAC dapat membantu menangkal radikal bebas penyebab *photoaging*.

Teknologi Nanopartikel dalam Distribusi Senyawa Antioksidan

Black garlic memiliki kandungan senyawa antioksidan yang berpotensi menetralkan radikal bebas penyebab *photoaging*, namun apabila penggunaan ekstrak *black garlic* ditambahkan secara langsung dalam bentuk sediaan topikal masih terdapat keterbatasan terutama terkait stabilitas kandungan senyawa bioaktif karena rentan mengalami degradasi akibat perubahan lingkungan seperti panas, cahaya, dan oksigen, sehingga aktivitas biologisnya menjadi berkurang sebelum mencapai target di kulit. Selain itu, kelarutan dan penetrasi terhadap kulit menjadi lebih sulit karena ukuran partikel yang besar menyebabkan luas permukaan menjadi sempit dan pendistribusian zat aktif menjadi terhambat.

Efektivitas penghantaran zat aktif dapat menjadi kurang maksimal ketika ukuran partikel zat aktif masih berupa molekul yang besar, karena pada lapisan *stratum corneum* kulit terjadi hambatan difusi senyawa aktif, sehingga diperlukan pengecilan ukuran partikel yang dapat melindungi senyawa bioaktif dan meningkatkan penyerapan terhadap kulit (Chen, et al., 2021).

Nanopartikel merupakan jenis koloid padat yang memiliki ukuran antara (10-1000 nm) (Nagpal, et al., 2010).

Pembuatan nanopartikel dapat melindungi komponen bioaktif dari *kerusakan* akibat faktor eksternal, sehingga stabilitasnya tetap terjaga dengan baik. Bentuk nanopartikel dapat meningkatkan pelepasan atau penyerapan zat aktif pada bagian tubuh seperti wajah sehingga zat aktif dapat bekerja secara maksimal. Pembuatan nanopartikel dilakukan dengan tujuan untuk melindungi zat aktif dari reaksi oksidasi atau degradasi lebih awal, menghambat penguapan zat yang bersifat mudah menguap seperti senyawa volatil, dan mengurangi rasa atau bau dari suatu zat (Mohanraj, et al., 2006).

Pembentukan nanopartikel ekstrak *black garlic* dapat dilakukan menggunakan metode gelasi ionik dan ultrasonikasi. Metode gelasi ionik adalah metode interaksi ionik antara gugus amino yang bermuatan positif dengan polianion yang bermuatan negatif yang terjadi proses taut silang secara fisika (Ayumi, et al., 2018). Metode ultrasonikasi merupakan metode pembentukan partikel melalui pemanfaatan gelombang suara yang disertai getaran untuk memisahkan penggumpalan partikel sehingga dapat terpecah menjadi ukuran yang sangat kecil. Metode ultrasonikasi unggul dalam hal prosesnya yang sederhana, lebih cepat, dan efisien dalam menghasilkan

partikel yang berukuran nanometer daripada metode gelas ionik (Prihantini, et al., 2020). Metode ultrasonikasi menggunakan gelombang ultrasonik dengan frekuensi yang melebihi batas pendengaran manusia yaitu pada 20 kHz. Gelombang ultrasonik tersebut dapat dihasilkan oleh alat seperti ultrasonik probe. Apabila waktu ultrasonikasi semakin lama, maka akan semakin banyak gelombang listrik yang dapat berubah menjadi gelombang tekanan untuk mengurangi ukuran partikel zat (Safaya, et al., 2020).

Pembuatan nanopartikel secara ultrasonikasi diperlukan bahan penyalut untuk melindungi permukaan komponen bioaktif sehingga dapat mencegah kerusakan dan mempertahankan stabilitas komponen senyawa aktif selama proses ultrasonikasi. Keberhasilan dalam proses nanofikasi dipengaruhi oleh parameter seperti penggunaan bahan penyalut, ukuran partikel yang kecil, dan indeks polidispersi. Penggunaan bahan penyalut dapat mempengaruhi efisiensi nanopartikel. Bahan penyalut harus mampu melindungi senyawa aktif dari oksidasi dan memberikan suatu lapisan tipis pada bahan inti dan tidak bereaksi terhadap senyawa yang menjadi komponen inti. Bahan penyalut sebagai matriks penghantar zat aktif dapat berupa polimer atau lipid (Wicaksono, et al.,

2021). Bahan penyalut dalam proses nanofikasi disebut enkapsulan sedangkan bahan yang disalut ini disebut core (Mukasyafah, 2015). Ukuran partikel memberikan pengaruh pada keberhasilan nanofikasi yaitu semakin kecil ukuran partikel maka dapat meningkatkan luas permukaan dan penyerapan senyawa bioaktif. Pengukuran nilai indeks polidispersi pada nanopartikel dilakukan untuk mengetahui tingkat homogenitas distribusi ukuran partikel. Apabila nilai indeks polidispersi di bawah 0,3 maka menunjukkan distribusi yang sempit (monodispersi), nilai antara 0,3-0,7 memiliki distribusi yang lebih luas (polidispersi), dan nilai di atas 0,7 termasuk distribusi yang sangat luas (superdispersi) (Danaei, et al., 2018).

Penelitian yang dilaporkan Afuwu, (2024) bahwa kadar bahan penyalut gum arab 1,33% dan STPP 0,17% dalam total 150 mL larutan untuk pembentukan nanopartikel ekstrak *black garlic* menggunakan metode ultrasonikasi selama 30 menit dengan frekuensi 20 kHz dapat menghasilkan ukuran partikel terkecil pada 45,74 nm dengan aktivitas antioksidan yang lebih baik yaitu 207,48 ppm daripada penyalut kitosan dengan hasil ukuran 162,6 nm dan nilai IC_{50} 464,65 ppm, kitin menghasilkan ukuran sebesar 948,7 nm dan nilai IC_{50} 380,68 ppm, dan

maltodekstrin dengan hasil ukuran sebesar 134,1 nm dan nilai IC_{50} 1153,78 ppm. Aktivitas antioksidan nanopartikel ekstrak *black garlic* menggunakan bahan penyalut gum arab secara statistik tidak berbeda signifikan dengan nilai aktivitas antioksidan ekstrak tanpa enkapsulasi yaitu 143,16 ppm.

Aplikasi Nanopartikel Ekstrak *Black Garlic* dalam Sediaan Topikal *Anti-aging*

Nanopartikel ekstrak *black garlic* dapat diformulasikan dalam berbagai sediaan topikal untuk meningkatkan kenyamanan penggunaan dan efektivitas terapi kulit. Dalam penelitian yang dilaporkan oleh Effendi, et al., (2025) dilakukan pembuatan ekstrak *black garlic* dengan menggunakan metode maserasi. Teknologi nanopartikel yang digunakan adalah sistem NLC (*Nanostructured Lipid Carrier*) yang berupa sistem penghantaran obat berbasis lipid dengan stabilitas dan kapasitas muat yang meningkat sehingga memungkinkan obat terdispersi lebih baik. Sistem ini juga mengembangkan enkapsulasi, perlindungan, dan transportasi bioaktif polar maupun nonpolar. Karakteristik ini menjadikan NLC sistem yang cocok untuk produksi serum dan dapat meningkatkan efektivitas formula. Formulasi NLC ekstrak *black garlic* dibuat dengan homogenisasi geser tinggi atau *High Shear Homogenization* (HSH)

menggunakan ultraturax 15.000 rpm selama 15 menit. Metode HSH digunakan karena dapat menghancurkan partikel surfaktan, lipid, dan air di atas suhu titik leleh lipid sehingga membentuk sistem emulsi (Babazadeh et al., 2017). Formula NLC EBG mengandung ekstrak BGE, stearin kelapa sawit dan minyak zaitun sebagai fase lipid, serta tween80 dan span80 sebagai surfaktan. Formulasi NLC EBG didasarkan pada karakterisasi partikel dan pengujian stabilitas. Karakterisasi NLC EBG meliputi pengukuran ukuran partikel dan indeks polidispersitas dengan analisis ukuran partikel (PSA). Hasil ukuran partikel NLC pada ketiga formula telah memenuhi kisaran ukuran nano yaitu 53,61-82,10 nm (<100 nm). Efek sitotoksik NLC-EBG diperiksa menggunakan uji 3-(4,5-dimetiltiazol-2-il)-2,5-difeniltetrazolium bromida (MTT) pada sel Vero. Efek anti-senesensi NLC-EBG dilakukan dengan uji SA- β -Gal. Inhibisi aktivitas gelatinase diprediksi melalui *molecular docking*. Pada ekstrak *black garlic* mengandung *S-allyl cysteine* sebagai senyawa organosulfur utama. NLC-EBG terbukti tidak toksik pada sel Vero dengan IC_{50} >500 μ g/mL. Selain itu, 50 μ g/mL NLC-EBG menunjukkan bahwa inhibisi senesensi yang diinduksi doxorubicin pada sel Vero. NLC-EBG juga menunjukkan afinitas yang baik

pada domain inhibitor MMP-1 (ΔG - 7,754 kcal/mol) dan MMP-2 (ΔG -9,130 kcal/mol). NLC-BGE menunjukkan anti-senesensi dan inhibisi gelatinase yang memiliki sifat anti-penuaan tinggi.

Penelitian lain yang dilaporkan oleh Andiarna, et al., (2024), *black garlic* yang telah mengalami pemanasan atau *aging* selama 35 hari diekstraksi secara sonikasi dan selanjutnya dilakukan nanofikasi menggunakan larutan $AgNO_3$ sebanyak 100 ml dengan perbandingan ekstrak terhadap $AgNO_3$ adalah sebesar 1:6, 1:9, 1:12. Proses terbentuknya nanopartikel perak dari ekstrak *black garlic* ini ditandai dengan adanya perubahan warna dari kuning menjadi kecoklatan. Nanopartikel perak ekstrak *black garlic* yang telah dibuat diformulasikan menjadi masker gel peel-off. Analisis aktivitas antioksidan pada nanopartikel tersebut diperoleh nilai IC_{50} sebesar 21,16 ppm yang tergolong sangat kuat dan hasil ukuran partikel mencapai 59,47 nm, sedangkan karakteristik fisik dari masker gel tersebut menunjukkan uji daya rekat, daya oles, dan waktu pengeringan yang baik.

Sintesis Temuan dan Kesenjangan Penelitian

Hasil kajian menunjukkan bahwa seluruh teknologi menghasilkan partikel < 100 nm yang berpotensi meningkatkan penetrasi kulit. Sistem NLC lebih banyak

dikembangkan untuk tujuan distribusi senyawa aktif anti-penuaan, di sisi lain nanopartikel perak ekstrak *black garlic* menunjukkan aktivitas antioksidan yang sangat kuat. Sebagian besar dari berbagai hasil penelitian yang dilaporkan masih berfokus pada karakterisasi kandungan bioaktif dan aktivitas antioksidan *black garlic*. Penelitian mengenai formulasi nanopartikel ekstrak *black garlic* untuk aplikasi kosmetik topikal masih terbatas jumlahnya dan didominasi oleh studi secara *in vitro*. Selain itu, belum banyak ditemukan mengenai formulasi krim, emulgel, hidrogel, ataupun nanoemulsi yang secara khusus mengkaji efektivitas anti-*aging* ekstrak *black garlic*.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil tinjauan literatur, teknologi nanopartikel ekstrak *black garlic* berpotensi dikembangkan sebagai antioksidan alami dalam kosmetik topikal anti-*aging* karena senyawa bioaktif seperti *S-allyl cysteine* (SAC), fenolik, dan flavonoid berperan dalam menghambat stres oksidatif dan penuaan kulit, sementara teknologi nanopartikel mampu meningkatkan stabilitas, pelepasan terkendali, dan penghantaran senyawa aktif. Meskipun menunjukkan prospek yang baik, penelitian lebih lanjut masih diperlukan untuk mengembangkan berbagai

formulasi kosmetik topikal dalam bentuk sediaan krim maupun emulgel serta perlu dilakukan evaluasi efektivitasnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Afuwuwu, N. S. (2024). Evaluasi Proses Produksi dan Karakterisasi Nanoekstrak Black Garlic dengan Variasi Jenis Bahan Penyalut. Skripsi. Jatinangor: Universitas Padjadjaran.
- Ahmed, T., & Wang, C. K. (2021). Black Garlic and Its Bioactive Compounds on Human Health Diseases: A Review. *Molecules*, 26(16). <https://doi.org/10.3390/molecules26165028>.
- Andiarna, F., Hidayati, I., & Agustina, E. (2024). Potential of Black Garlic Nanoparticles as Skin Care. *Journal of Health Science and Prevention*, 8(1), 42-47.
- Ayumi, D., Sumaiyah, S., & Masfria, M. (2018). Pembuatan dan Karakterisasi Nanopartikel Ekstrak Etanol Daun Ekor Naga (*Rhaphidophora pinnata* L.) Menggunakan Metode Gelasi Ionik. *Talenta Conference Series: Tropical Medicine*, 1(3) 29-33.
- Azhar, S. F., Mulkiya, K. Y., & Kodir, R. A. (2021). Pengaruh Waktu Aging dan Metode Ekstraksi Terhadap Aktivitas Antioksidan Black Garlic yang Dibandingkan Dengan Bawang Putih (*Allium sativum* L.). *Journal Riset Farmasi*. <https://doi.org/10.29313/v0i0.712>.
- Bajpai, V. K., Kamle, M., Shukla, S., Mahato, D. K., Chandra, P., Hwang, S. K., Kumar, P., Huh, Y. S., Han, Y. K. (2018). Prospects of using nanotechnology for food preservation, safety, and security. *Journal of Food and Drug Analysis*, 26(4), 1201-1214. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2018.06.011>.
- Binici, H. I., Savaş, A., & Erim, B. (2025). Processing-induced modifications in bioactive compounds of black garlic: a comparative analysis with white garlic. *Italian Journal of Food Science*, 37(1), 432-440. <https://doi.org/10.15586/ijfs.v37i1.2877>.
- Chen, C., Tsai T., Chen, B. (2021). Effects of Black Garlic Extract and Nanoemulsion on the Deoxy Corticosterone Acetate-Salt Induced Hypertension and Its Associated Mild Cognitive Impairment in Rats. *Antioxidants (Basel)*, 10(10).
- Dampati, P. S., & Veronica, E. (2020). Potensi Ekstrak Bawang Hitam Sebagai Tabir Surya Terhadap Paparan Sinar Ultraviolet. *Keluwih: Jurnal Kesehatan dan Kedokteran*, 2(1), 23-31. <https://doi.org/10.24123/kesdok.V2i1.3020>.
- Danaei, M., Dehghankhold, M., Ataei, S., Davarani, F. H., Javanmard, R., Dokhani, A., Khorasani, S., Mozafari, M. R. (2018). Impact of Particle Size and Polydispersity Index on the Clinical Applications of Lipidic Nanocarrier Systems. *Pharmaceutics*, 10(2), 57.
- Effendi, F. C., Nabila, K., Maharani, D., Widayanti, W. R., Jauhari, F. I., Meiyanto, E., & Lukitaningsih, E. (2024). Anti-aging Effect of Black Garlic Through Anti-

- senescence, Gelatinase Inhibition Mechanism, and Formulation of NLC Serum. *Majalah Obat Tradisional*, 30(1), 9-18.
- Ferlay, J., Ervik, M., Lam, F., Laversanne, M., Colombet, M., Mery, L., Piñeros, M., Znaor, A., Soerjomataram, I., & Bray, F. (2024). *Global Cancer Observatory: Cancer Today*. Lyon, France: International Agency For Research on Cancer. Available from: <https://gco.iarc.who.int/today> (accessed 22 October 2025).
- Fernandes, A., Rodrigues, P.M., Pintado, M., Tavora, F.K. (2023). A systematic review of natural products for skin applications: targeting inflammation, wound healing, and photo-aging. *Phytomedicine*, 115, 154824. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2023.154824>.
- Ke, Y., Wang, X.-J. (2021). TGF β Signaling in Photoaging and UV-Induced Skin Cancer. *Journal Invest. Dermatol.* 141 (4), 1104–1110. <https://doi.org/10.1016/j.jid.2020.11.007>.
- Krisnawan, A. H., Budiono, R., Natarika, A., Mirani, A., & Andarini, N. (2022). The Effects of Processing Time on The Total Phenolic, Flavonoid Content, and Antioxidant Activity of Multi Bulb and Single Bulb Black Garlic. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, 33(1), 69–76.
- Li, F., Cao, J., Liu, Q., Hu, X., Liao, X., Zhang, Y. (2020). Acceleration of the Maillard reaction and achievement of product quality by high pressure pretreatment during black garlic processing. *Food Chem*, 15, 318, 126517. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.126517
- Mohanraj, V. J., & Chen. (2006). Nanoparticles : A Review. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 5(1).
- Mukasyafah, N. H. (2015). Pengaruh pH Berbeda Terhadap Pelepasan Penyalut Gum Arab dan Maltodekstrin Pada Enkapsulasi Ekstrak Alga Coklat. Skripsi. Malang: Universitas Brawijaya.
- Nagpal K., Singh S. K., & Mishra D. N. (2010). Chitosan Nanoparticles: A Promising System In Novel Drug Delivery. *Chem Pharm Bull*, 58(11), 1423-1430.
- Pramitha, D. A. I., & Yani, N. N. A. K. (2020). Perbedaan Kadar Flavonoid Total Dari Black Garlic Tunggal dan Majemuk Dengan Metode Spektrofotometri UV-Vis. *Chimica Et Natura Acta*, 8(2), 84. <https://doi.org/10.24198/cna.v8.n2.27274>.
- Prihantini, M., Zulfa, E., Prastiwi, L. D., & Yulianti, I. D. (2020). Pengaruh Waktu Ultrasonikasi Terhadap Karakteristik Fisika Nanopartikel Kitosan Ekstrak Etanol Daun Suji (*Pleomele angustifolia*) dan Uji Stabilitas Fisika Menggunakan Metode Cycling Test. *Jurnal Ilmu Farmasi dan Farmasi Klinik*, 16(2), 125.
- Putriana, N. A., Mardawati, E., Wardhana, Y. W., Ismiatun, Wulandari, A., Wira, D. W., & Masruchin, N. (2022). Formulation and Evaluation of Black Garlic (*Allium Sativum L.*) Lozenges As An Antioxidant Supplement. *Indonesian Journal of Pharmaceutics*, 4(1), 208-218.

- Safaya, M., & Rotliwala, Y. C. (2020). Nanoemulsions: A Review on Low Energy Formulation Methods, Characterization, Applications, and Optimization Technique. *Materials Today: Proceedings*, 27, 454-459.
- Sailah, I., & Miladulhaq, M. (2021). Perubahan sifat fisikokimia selama pengolahan bawang putih tunggal menjadi bawang hitam menggunakan. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 31(1), 88–97, <https://doi.org/10.24961/j.tek.ind.pert.2021.31.1.88>.
- Sheir, M. A., Almaski, A. M., Almughamisi, M. A., Abduljawad, S. H., Elsebaie, E. M., & Ahmed, R. A. (2025). Nephroprotective Effect of Aged Black Garlic Extract as a Functional Flock Medicinal on Sodium Benzoate-Induced Chronic Kidney Disease in Albino Rats. *Life*, 15(2). <https://doi.org/10.3390/life15020217>.
- Wasliati, B., Pangkahila, W., & Wiraguna, A. A. G. P. (2019). Krim Ekstrak Bawang Hitam (*Allium sativum* L.) Mencegah Peningkatan Ekspresi MMP-1 dan Penurunan Jumlah Kolagen Dermis Kulit Tikus (*Rattus norvegicus*) Wistar Jantan yang Dipapar Sinar UV-B. *CDK-278*, 46(8), 487–490.
- Wicaksono, D. S., & Nurdyansyah, F. (2021). Aplikasi Teknologi Nanoenkapsulasi Untuk Melindungi Senyawa Bioaktif Bahan Pangan. *Pangan dan Hasil Pertanian*, 5(2), 222-231.
- Yusuf, A., Almotairy, A.R.Z., Henidi, H., Alshehri, O.Y., & Aldughaim, M.S. (2023). Nanoparticles as Drug Delivery Systems: A Review of the Implication of Nanoparticles' Physicochemical Properties on Responses in Biological Systems. *Polymers*, 15, 1596. <https://doi.org/10.3390/polym15071596>.
- Zulfikar, M., Mayasari, A. C., Kertapati, Y., Rachmawati, D. S., & Ernawati, D. (2025). Pengaruh Sifat Psikokimia, Fungsional Senyawa Organosulfur dan Polisakarida Pada Bawang Putih Hitam Dengan Metode Fermentasi Dalam Memperbaiki Sel Akibat Kerusakan Oksidatif Pada Tubuh Manusia. *Jurnal Kesehatan Madani Medika*, 16(1), 115–127.