

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menurut beberapa lembaga, baik skala nasional maupun skala internasional, penggunaan antibiotik akan terus meningkat. Secara global, penggunaan obat-obatan yang tergolong sebagai antibiotik meningkat sebesar 21% dari tahun 2016 sampai dengan 2024 (Klein dkk., 2024). Di Indonesia, hampir 39% antibiotik yang beredar di masyarakat dikonsumsi tanpa resep dokter (Kemenkes, 2023). Data ini menunjukkan bahwa pengedaran obat-obatan ini sulit untuk dipantau dan dikontrol.

Antibiotik umumnya digunakan untuk menghambat ataupun menghentikan pertumbuhan serta perkembangbiakan bakteri. Namun, penggunaan obat ini memiliki resiko untuk menyebabkan resistensi pada bakteri (Hutchings, Truman, dan Wilkinson, 2019). Dampaknya, beberapa bakteri tertentu akan mengembangkan strain spesifik yang resisten terhadap antibiotik-antibiotik tertentu. Hal ini menyebabkan berkurangnya efektivitas dari obat-obatan tersebut. Menurut beberapa riset pada tahun lalu, jumlah strain bakteri *E. coli* yang tergolong resisten terhadap antibiotik meningkat sebanyak 42%, dan 35% untuk bakteri *S. aureus* (Biswas dkk., 2024; Fang dkk., 2023). Jumlah kematian yang disebabkan oleh strain-strain bakteri pada tahun 2021 hampir dua kali lipatnya dari tahun sebelumnya. Hal ini menempatkan kematian yang disebabkan oleh bakteri resisten sebagai penyebab kematian terbesar ke-3 secara global (CMS USA, 2019).

Pencegahan dari bertambahnya jumlah bakteri resisten umumnya dilakukan dengan menggunakan metode alternatif selain antibiotik. Beberapa diantaranya adalah penggunaan bakteriosin, probiotik, antibodi monoklonal, terapi dengan bakteriofag, dan sebagainya (Gupta dan Sharma, 2022). Metode-metode ini menawarkan pendekatan tidak toksik serta tidak beresiko menyebabkan resistensi pada bakteri. Namun, pendekatan ini cenderung spesifik pada bakteri-bakteri dengan strain tertentu. Penggunaan probiotik, sebagai contoh, bekerja dengan menghalangi adhesin bakteri yang berperan untuk menempel bakteri pada sel

inangnya. Protein yang bertugas untuk menghalangi adhesin berbeda-beda untuk tiap jenis bakteri (Rabetafika dkk., 2023).

Nanopartikel adalah material yang memiliki setidaknya satu dimensi kurang dari 100 nm. Karena ukurannya, material ini memiliki sifat khusus yang tidak dimiliki pada kondisi *bulk* (Joudeh dan Linke, 2022). Partikel-partikel tersebut menunjukkan peningkatan dari sifat optis (Alrebdi dkk., 2022; ElFaham, Mostafa dan Toghan, 2021), konduktivitas (Toghan dkk., 2022), daya katalitik (Alamro dkk., 2021; Mostafa dkk., 2021), dan resistensi mekanis yang lebih tinggi (Khan, Saeed dan Khan, 2017).

Beberapa eksperimen juga telah memanfaatkan nanopartikel sebagai agen antimikroba (Crisan dkk., 2021). Beberapa nanopartikel, seperti nanopartikel perak, dapat meningkatkan sifat antibakteri dari antibiotik (Surwade dkk., 2018). Dari studi lain, Rai dkk. (2010) menggunakan nanopartikel emas sebagai pelapis alat medis dan menunjukkan bahwa perkembangbiakan bakteri yang terdapat pada permukaannya terhambat. Sebagian besar bakteri yang resisten terhadap antibiotik telah memodifikasi komponen sel, ekspresi enzim, dan pompa efluks (Parmanik dkk., 2022). Pendekatan ini mengatasi masalah resistensi antibiotik yang semakin meningkat akibat penyalahgunaan antibiotik.

Saat ini, berbagai nanopartikel logam dan non-logam telah diteliti sifat antibakterinya (Hochvaldová dkk., 2022; Mostafa dan Mwafy, 2020a). Nanopartikel karbon, khususnya, telah menarik minat yang signifikan karena ketersediaannya yang melimpah, toksisitas yang rendah, dan tidak membutuhkan biaya yang besar (Holmannova dkk., 2022). Berbagai teknik telah digunakan untuk memproduksi partikel-partikel tersebut. Salimi dkk. (2021) memanfaatkan murbei putih untuk menghasilkan nanopartikel karbon melalui metode hidrotermal. Li dkk. (2018) menerapkan metode elektrokimia untuk memproduksi nanopartikel karbon dari vitamin C. Mereka melaporkan bahwa nanopartikel yang diperoleh memiliki distribusi ukuran yang baik dan sangat efektif dalam menghambat pertumbuhan dari bakteri.

Setiap metode memiliki keuntungan dan kerugiannya masing-masing. Pendekatan *bottom-up* adalah metode yang paling umum digunakan. Teknik ini mampu menghasilkan material nano dalam jumlah yang sangat banyak, tetapi sering melibatkan prosedur yang panjang dan rumit (Balachandran dkk., 2022). Selain itu, metode yang disebutkan sebelumnya tidak dapat menghasilkan nanopartikel koloid dengan kemurnian tinggi karena melibatkan agen kimia lain dalam proses sintesisnya (Altammar, 2023).

Ablasi laser pulsa dalam cairan adalah pendekatan *top-down* yang memanfaatkan laser untuk mendeposisikan sejumlah besar energi untuk mengikis material dan menginduksi plasma (Labutin dkk., 2016). Cairan di sekitar plasma menciptakan suatu gradien tekanan, diikuti oleh pembentukan gelembung kavitasi sebagai hasil dari peluruhan plasma yang mentransfer energi ke dalam cairannya (Taccogna, 2015). Saat gelembung pecah, nanopartikel dilepaskan ke dalam zat cair. Metode ablasi laser pulsa menghasilkan produk nanopartikel yang memiliki kemurnian tinggi karena tidak memerlukan agen kimia tambahan dalam prosesnya (Darwish dkk., 2015; Mwafy dan Mostafa, 2019). Selain itu, nanopartikel yang keluar terdispersi dalam zat cair, sehingga membentuk larutan koloid, yang membuatnya mudah ditangani sebagai suspensi atau serbuk (Darwish dkk., 2015). Selain itu, teknik ini memiliki setup eksperimental yang jauh lebih sederhana daripada metode yang disebutkan sebelumnya (Kaczmarek dkk., 2021; Kazemizadeh dkk., 2023).

Sampai saat ini, masih ada kekurangan penelitian yang dilakukan dalam produksi nanopartikel karbon yang stabil untuk aplikasi antibakteri. Selain itu, nanopartikel yang diproduksi dengan metode ablasi laser pulsa kurang efektif dalam menghambat pertumbuhan bakteri dibandingkan dengan yang disintesis melalui metode alternatif (Mostafa dan Mwafy, 2020b). Hal ini menunjukkan perlunya optimalisasi lebih lanjut untuk meningkatkan potensi antibakteri mereka.

Dalam studi ini, laser Nd:YAG (*Neodymium Yttrium Aluminum Garnet*) digunakan untuk menghasilkan nanopartikel karbon melalui metode ablasi laser pulsa dalam cairan. Zat cair dalam metode ini berperan dalam mengatur ukuran

nanopartikel dan berfungsi sebagai agen penstabil (Bagga dkk., 2015). Penerapan larutan-larutan polimer, seperti kitosan, telah menunjukkan hasil yang menjanjikan dalam memproduksi nanopartikel yang lebih stabil (Khumaeni dkk., 2022). Larutan etilendiamina juga pernah digunakan untuk memodifikasi sifat permukaan nanopartikel grafit untuk pengaplikasian medis (Mwafy dkk., 2019). Oleh karena itu, untuk mengeksplorasi efek zat cair yang berbeda, nanopartikel karbon yang disintesis dalam cairan kitosan dan etilendiamin menggunakan metode ablasi laser pulsa akan diteliti. Selanjutnya, nanopartikel yang dihasilkan diaplikasikan pada bakteri *E. coli* untuk mempelajari sifat antibakteri dari nanopartikel tersebut.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Menyelidiki dampak medium cairan dalam proses ablasi laser pulsa terhadap ukuran nanopartikel karbon yang dihasilkan.
2. Mempelajari hubungan ukuran nanopartikel karbon dengan sifat antibakterinya terhadap bakteri *E. coli*.
3. Menganalisis pengaruh zat cairan yang digunakan sebagai medium cair dalam proses ablasi laser pulsa terhadap tingkat stabilitas nanopartikel karbon.

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini, yaitu:

1. Mengetahui dampak medium cairan dalam proses ablasi laser pulsa terhadap ukuran nanopartikel karbon yang dihasilkan.
2. Mengetahui hubungan ukuran nanopartikel karbon dengan sifat antibakterinya terhadap bakteri *E. coli*.
3. Mengetahui pengaruh zat cairan yang digunakan sebagai medium cair dalam proses ablasi laser pulsa terhadap tingkat stabilitas nanopartikel karbon.