

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Aspergillus niger adalah spesies jamur yang dikenal luas dan memiliki dampak signifikan dalam bidang kesehatan dan pertanian. Jamur ini, yang sering disebut sebagai jamur hitam yang bersifat berbahaya, karena menghasilkan mikotoksin yang mampu menyerang sistem saraf pusat, mempengaruhi hati dan ginjal, mampu mengganggu sistem pernafasan bahkan menyebabkan kematian (Maqsood dkk., 2020). Mikotoksin dari *Aspergillus* sp. sering ditemukan dalam bahan makanan yang terkontaminasi dan penyakit yang ditimbulkannya disebut dengan Aspergillosis (Tjampakasari dkk., 2024). Gejala dari penyakit tersebut antara lain reaksi alergi pada sistem pernafasan, infeksi paru, luka pada tenggorokan, serta gangguan organ pernafasan lainnya (Harahap dkk., 2024). Genus *Aspergillus* atau satu diantara *Aspergillus* sp. yang memiliki pravelensi lebih tinggi dibanding jamur lain yakni *Aspergillus niger* karena kemampuannya untuk tersebar melalui debu ataupun udara (Victoria dkk., 2023).

Pengembangan agen antifungi menjadi penting untuk mengendalikan pertumbuhan *Aspergillus niger*. Salah satu material yang potensial digunakan adalah zeolit, yaitu material aluminosilikat kristalin dengan struktur tiga dimensi yang tersusun dari tetrahedral $[\text{SiO}_4]^{4-}$ dan $[\text{AlO}_4]^-$. Zeolit memiliki struktur berpori, luas permukaan yang besar, kemampuan pertukaran ion yang tinggi, serta kestabilan kimia dan termal yang baik, sehingga mampu bertindak sebagai penyaring, penukar ion, atau katalis dalam berbagai aplikasi industri (Lahn dkk., 2020). Berdasarkan sifat tersebut, dalam penelitian ini zeolit dimanfaatkan sebagai media pertukaran ion, dan tempat distribusi ion logam yang memungkinkan tersebar secara merata.

Zeolit dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu zeolit alam dan sintetis, dengan zeolit jenis sintetis lebih disukai karena sifat fisiko-kimia yang dapat disesuaikan untuk berbagai aplikasi. Zeolit alam terbentuk secara alami dengan sifat heterogen, dimana komposisi dan ukuran pori tidak seragam yang menyebabkan

variasi dalam kinerja dan stabilitasnya, sementara zeolit sintetis diperoleh melalui proses kontrol, memungkinkan ukuran pori, komposisi, dan struktur kristalnya lebih seragam dan sesuai dengan kebutuhan aplikasi (Gao dkk., 2023). Berbagai jenis zeolit sintetis telah dikembangkan dengan karakteristik unik pada struktur, rasio Si/Al, dan kapasitas tukar ion. Zeolit Y memiliki struktur faujasit dengan ukuran pori besar ($\sim 7,4 \text{ \AA}$) yang mendukung distribusi merata ion logam (Malek dkk., 2018). Rasio Si/Al rendah menyebabkan tingginya jumlah muatan negatif, sehingga kapasitas pertukaran ion menjadi lebih tinggi, namun jika rasio terlalu rendah, stabilitas zeolit dalam kondisi berair atau asam menurun dan berisiko kerangka kristal runtuh. Sebaliknya, rasio Si/Al yang tinggi menghasilkan muatan negatif lebih sedikit, yang artinya kapasitas pertukaran ion berkurang. Zeolit Y kapasitas pertukaran ionnya tinggi karena memiliki rasio Si/Al rendah hingga sedang (1,5 hingga 3). Dibandingkan dengan zeolit A dan X, zeolit Y memiliki rasio Si/Al lebih tinggi sehingga menawarkan stabilitas termal yang lebih baik (Sadeghi dkk., 2013).

Beberapa penelitian telah melaporkan pemanfaatan zeolit baik alami maupun sintetis yang dimodifikasi dengan ion logam (seperti Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ag^+) sebagai agen antimikroba (antifungi). Zeolit pada dasarnya tidak memiliki aktivitas antimikroba (antifungi), sehingga diperlukan modifikasi melalui pertukaran ion logam (*ion exchange*). Metode pertukaran ion terjadi melalui pergantian ion logam dengan kation seperti Na^+ yang terikat lemah secara elektrostatik, dimana kation tersebut berperan untuk menyeimbangkan muatan negatif pada kerangka zeolit (Tamargo dkk., 2021).

Ion tembaga (Cu^{2+}) dan seng (Zn^{2+}) banyak digunakan karena bersifat toksik terhadap mikroorganisme pada konsentrasi tinggi, namun tetap esensial bagi kehidupan pada konsentrasi rendah, sehingga baik digunakan sebagai agen antifungi (Malachová dkk., 2011). Keunggulan utama ion Cu^{2+} dan Zn^{2+} dibandingkan ion monovalen seperti Na^+ atau Ag^+ adalah valensi ganda yang dimiliki menghasilkan interaksi elektrostatik lebih kuat dengan kerangka zeolit, efisiensi pertukaran ion yang lebih tinggi, serta aktivitas antimikroba lebih luas (Yang dkk., 2024). Modifikasi zeolit dengan ion-ion logam ini menunjukkan

aktivitas antifungi, karena sifat ion Cu^{2+} dan Zn^{2+} yang mampu dilepaskan dari kerangka zeolit, kemudian merusak dinding sel, mengganggu enzim, dan membentuk stress oksidatif pada jamur (Tekin & Bac, 2016). Ion Cu^{2+} dan Zn^{2+} mampu berinteraksi efektif dengan struktur zeolit Y karena ukuran ionik dan muatan keduanya masih sesuai dengan rongga serta situs pertukaran kation zeolit, memungkinkan pertukaran ion yang stabil (Sutianingsih, 2022). Aktivitas zeolit termodifikasi sebagai antifungi umumnya akan dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah konsentrasi dan waktu inkubasi (Oheix dkk., 2024). Pemilihan variabel dibatasi pada dua faktor ini untuk menyederhanakan analisis dan memperoleh interpretasi yang lebih terfokus. Kedua faktor ini dipilih karena memiliki pengaruh langsung terhadap aktivitas antifungi, yakni jumlah zeolit yang digunakan dan durasi interaksi terhadap jamur.

Faktor-faktor tersebut jika dianalisis secara satu per satu akan menjadi tidak efisien karena jumlah kombinasi variabel yang sangat banyak. Upaya mengoptimalkan aktivitas Cu^{2+} -Zeolit dan Zn^{2+} -zeolit sebagai antifungi terhadap *Aspergillus niger*, diperlukan pendekatan sistematis yang mempertimbangkan interaksi antara berbagai faktor. Metode *Response Surface Method* (RSM) merupakan metode statistik yang menawarkan kemampuan dalam membangun model matematis yang menggambarkan hubungan kompleks antara variabel (tunggal atau kombinasi) dan respons, sekaligus memungkinkan prediksi kondisi optimal dengan jumlah eksperimen yang lebih sedikit dibandingkan dengan metode konvensional (Grygorcewicz dkk., 2023). Terutama desain *Central Composite Design* (CCD) mampu mengevaluasi efek linier, kuadratik, dan interaksi antar variabel, serta memberikan estimasi kondisi optimal dengan jumlah eksperimen yang minimal (Myers dkk., 2016). Studi oleh Tekin & Bac (2016) telah menguji aktivitas antifungi zeolit X termodifikasi dengan ion logam Cu^{2+} dan Zn^{2+} terhadap *Aspergillus niger*, namun menggunakan jenis zeolit yang berbeda dan belum menerapkan pendekatan statistik seperti RSM untuk optimasi aktivitas.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka penelitian ini dilakukan sintesis zeolit Y termodifikasi dengan ion logam Cu^{2+} dan Zn^{2+} yang dibutuhkan sebagai agen antifungi terhadap *Aspergillus niger*. Hal ini melibatkan identifikasi aktivitas

antifungi Cu^{2+} -Zeolit Y dan Zn^{2+} -Zeolit Y terhadap *Aspergillus niger*, serta penentuan parameter optimal yang diperlukan untuk aktivitas antifungi tersebut menggunakan *Response Surface Method* (RSM).

I.2 Tujuan Penelitian

Sebagai bagian dari fokus penelitian ini, tujuan yang ingin dicapai adalah sebagai berikut:

1. Memperoleh zeolit Y termodifikasi ion logam Cu^{2+} dan zeolit Y termodifikasi ion Zn^{2+} sebagai agen antifungi.
2. Memperoleh data konsentrasi dan waktu inkubasi optimal untuk aktivitas antifungi Cu^{2+} -Zeolit Y dan Zn^{2+} -Zeolit Y menggunakan *Response Surface Method* (RSM).