

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Pengembangan dan peningkatan material dengan kemampuan untuk menghambat pertumbuhan jamur telah menjadi perhatian besar di bidang akademik dan teknologi karena beberapa penerapannya, seperti sistem penghantaran obat, pengemasan dan penyimpanan makanan, konstruksi serta tekstil. Beberapa karya telah menunjukkan bahwa bahan anorganik antijamur memberikan keuntungan penting dibandingkan bahan organik yang digunakan secara tradisional seperti stabilitas kimia, ketahanan terhadap panas, dan tahan lama salah satunya yakni zeolit. Zeolit merupakan material berpori yang bisa ditemukan di alam maupun disintesis dalam berbagai tipe sebagai aluminosilikat (Souza dkk., 2023). Berdasarkan pembuatannya, zeolit dibedakan menjadi zeolit alam dan zeolit sintetis. Keefektifan zeolit sintetis sebagai senyawa antimikroba lebih baik dibandingkan dengan zeolit alam karena strukturnya lebih homogen (Souza dkk., 2023).

Pada dasarnya, untuk memperoleh zeolit yang memiliki sifat antijamur maka kation logam alkali atau alkali tanah yang terdapat dalam zeolit harus ditukar dengan kation logam inhibitor. Pemanfaatan kation logam sebagai antijamur salah satunya dikarenakan memiliki sifat oligodinamik, yaitu kemampuan logam berat dapat membunuh jamur dengan konsentrasi yang rendah dalam waktu yang singkat diantaranya Ag^+ dan Zn^{2+} (Arora dkk., 2020). Ion Ag^+ dikenal memiliki aktivitas antijamur yang tinggi, sementara Zn^{2+} menawarkan kombinasi antara aktivitas antijamur dan tingkat toksisitas yang lebih rendah terhadap manusia dan lingkungan. Keuntungan terbesar dari Ag^+ dan Zn^{2+} adalah mudah dimasukkan dalam bahan pendukung pembawa seperti polimer, oksida logam, silika, tanah liat, dan zeolit. Pemilihan Ag^+ dan Zn^{2+} dibandingkan ion logam lainnya juga didasarkan pada afinitasnya terhadap situs pertukaran dalam zeolit. Ion Ag^+ dan Zn^{2+} dapat menggantikan ion Na^+ dalam zeolit sintetis karena memiliki afinitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan ion Na^+ . Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor,

antara lain muatan ion, ukuran ion (radius ion), dan energi hidrasi ion. Ion Zn^{2+} memiliki muatan dua kali lipat dibandingkan Na^+ , sedangkan ion Ag^+ memiliki energi hidrasi lebih rendah dibandingkan Na^+ sehingga keduanya dengan mudah masuk ke dalam struktur zeolit dan berinteraksi dengan situs aktif. Meskipun pertukaran ion Na^+ dengan kation lain dapat berlangsung, proses ini tidak selalu menghasilkan penggantian menyeluruh. Dalam banyak kasus, pertukaran ion hanya menghasilkan campuran antara ion Na^+ dan ion yang dipertukarkan di dalam struktur zeolit. Berbagai faktor, seperti kondisi kesetimbangan reaksi serta karakteristik fisik dan kimia zeolit dapat membatasi tingkat pertukaran ion yang terjadi. Penggantian ion natrium melalui metode pertukaran ion menggunakan larutan merupakan reaksi kesetimbangan (Gęsikiewicz-Puchalska dkk., 2021). Dengan demikian, selalu terdapat keseimbangan antara ion yang tertahan dalam struktur zeolit dan ion yang berada di dalam larutan sehingga zeolit umumnya hanya mengalami pertukaran sebagian. Beberapa penelitian menunjukkan zeolit sintetis yang mengandung ion Ag^+ atau Zn^{2+} diterapkan untuk tujuan antibakteri diantaranya zeolit A, zeolit X dan zeolit Y. Sánchez-López dkk. (2023) membuktikan zeolit Y yang termodifikasi kation Ag^+ dan Zn^{2+} menunjukkan kapasitas inaktivasi yang tinggi dimulai pada konsentrasi yang relatif rendah untuk uji antijamur dan tidak mengubah struktur zeolit.

Zeolit dengan rasio Si/Al rendah menghasilkan jumlah situs bermuatan negatif yang tinggi, sehingga kapasitas tukar ion zeolit juga tinggi. Namun, jika rasio Si/Al terlalu rendah akan kurang stabil dalam lingkungan berair atau asam sehingga berpotensi menyebabkan keruntuhan kerangka kristal. Menurut aturan Löwenstein, kandungan Al dalam posisi tetrahedral tidak boleh melebihi kandungan Si, yang berarti bahwa hanya ikatan Si–O–Si dan Si–O–Al yang diperbolehkan dalam kerangka zeolit, sementara ikatan Al–O–Al tidak diperbolehkan. Dengan demikian, rasio Si terhadap Al tidak boleh kurang dari 1 (Kononova dkk., 2023). Penelitian Putri dkk., (2023) menunjukkan bahwa zeolit X dan Y memiliki kapasitas pertukaran ion yang lebih tinggi karena distribusi kation Na^+ yang lebih merata di dalam pori-pori besar. Pada zeolit rasio Si/Al yang lebih tinggi, seperti ZSM-5, jumlah Na^+ lebih sedikit, dan ion tersebut cenderung berada

di kanal kecil. Zeolit Y memiliki struktur kerangka faujasit dengan luas permukaan dan volume pori yang tinggi, serta kemampuan tukar kation yang baik sehingga cocok dimodifikasi dengan ion logam (Król dkk., 2021). Selain itu, zeolit Y juga lebih stabil secara termal dan kimiawi dibandingkan zeolit lainnya, yang menjadikannya lebih ideal untuk aplikasi antijamur. Oleh karena itu, dalam penelitian ini zeolit Y dipilih dan sintesis zeolit Y dilakukan menggunakan metode hidrotermal seperti yang dilaporkan oleh Sun dkk. (2022), kemudian dimodifikasi menjadi Ag^+ -Zeolit Y dan Zn^{2+} -Zeolit Y melalui metode *ion exchange*.

Zeolit yang dimodifikasi dengan ion logam seperti Ag^+ dan Zn^{2+} diketahui memiliki sifat antijamur melalui pelepasan ion yang merusak membran sel, tetapi efektivitasnya terhadap jamur bisa lebih rendah akibat struktur dinding sel jamur yang lebih kompleks dan sulit ditembus. Hal ini menyebabkan literatur tentang aksi zeolit terhadap jamur jauh lebih terbatas dibandingkan dengan bakteri. Sebagian besar penelitian mengenai zeolit difokuskan pada aktivitas antibakteri, terutama karena bakteri merupakan mikroorganisme patogen yang paling umum. Padahal, jamur seperti *Aspergillus niger* juga dapat menyebabkan kerusakan bahan pangan, material organik, bahkan menimbulkan risiko kesehatan. Spora *Aspergillus*, termasuk *A. niger*, dapat menyebar melalui udara di lingkungan rumah sakit, terutama di area dengan ventilasi terbuka atau tanpa sistem penyaringan udara yang efisien, meningkatkan risiko kontaminasi (Lemos dkk., 2024). Oleh karena itu, pengembangan zeolit termodifikasi ion Ag^+ dan Zn^{2+} sebagai agen antijamur menjadi penting untuk menjawab kebutuhan akan alternatif bahan antijamur yang efektif dan ramah lingkungan.

Pengujian aktivitas antijamur terhadap *A. niger* dilakukan menggunakan pendekatan *Response Surface Method* dengan *Central Composite Design* (RSM-CCD), yang memungkinkan analisis hubungan interaktif antara dua parameter penting, yaitu konsentrasi dan waktu inkubasi. Penggunaan RSM menjadi sangat relevan mengingat penelitian mengenai efektivitas antijamur zeolit masih terbatas, sehingga dibutuhkan pendekatan statistik yang kuat untuk mengevaluasi dan memaksimalkan kondisi optimum dari parameter yang diuji. Sánchez-López dkk. (2023) mengevaluasi aktivitas antimikroba zeolit Y yang dimodifikasi dengan ion

Ag^+ dan Zn^{2+} terhadap bakteri dan virus, namun belum mencakup uji terhadap jamur patogen seperti *Aspergillus niger*. Sementara itu, Tekin & Bac (2016) meneliti aktivitas antijamur zeolit X termodifikasi terhadap *A. niger*, namun jenis zeolit yang digunakan berbeda dan penelitian tersebut tidak memanfaatkan pendekatan statistik untuk optimasi efektivitas. Oleh karena itu, penelitian ini menggabungkan penggunaan zeolit Y termodifikasi ion Ag^+ dan Zn^{2+} secara terpisah dengan pendekatan *Response Surface Method* (RSM) untuk mengoptimalkan parameter uji antijamur sehingga memberikan kontribusi baru dalam pengembangan material antijamur yang lebih terarah dan aplikatif.

I.2 Tujuan Penelitian

Dari latar belakang di atas, maka penelitian ini dilakukan dengan tujuan :

1. Memperoleh zeolit Y, Ag^+ -Zeolit Y dan Zn^{2+} -Zeolit Y beserta karakternya.
2. Menentukan konsentrasi dan waktu inkubasi optimal untuk aktivitas antijamur Ag^+ -Zeolit Y dan Zn^{2+} -Zeolit Y terhadap *Aspergillus niger* berdasarkan *Response Surface Method-Central Composite Design* (RSM-CCD).