

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ketergantungan manusia terhadap Penggunaan bahan bakar fosil secara terus-menerus saat ini masih menjadi salah satu penyumbang utama permasalahan lingkungan. Pembakaran bahan bakar tersebut menghasilkan emisi gas buangan seperti karbon dioksida (CO_2), nitrogen oksida (NO_x), sulfur dioksida (SO_2), hingga partikulat halus, yang berkontribusi besar mendorong terjadinya pemanasan global, perubahan iklim, hujan asam, ataupun penurunan kualitas udara (Sulistiyono, 2012). Dampak dari hal ini tidak hanya mengancam ekologis, tetapi juga sangat berdampak bagi kesehatan dan keberlanjutan kehidupan manusia. Kondisi ini menunjukkan bahwa ketergantungan terhadap bahan bakar fosil tidak dapat dipertahankan dalam jangka panjang.

Kesadaran mulai meningkat seiring dengan ancaman krisis energi dan polusi, mendorong pengembangan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Dalam konteks ini, energi terbarukan seperti energi surya, angin, biomassa, panas bumi, maupun termoelektrik mendapat perhatian yang besar karena mampu menghasilkan energi tanpa menghasilkan polusi berlebih ataupun menyebabkan deplesi sumber daya alam (Banupriya et al., 2025). Di antara teknologi tersebut, termoelektrik cukup menarik perhatian karena mampu mengonversi panas yang terbuang menjadi energi listrik secara langsung tanpa menghasilkan emisi tambahan.

Zinc Oxide (ZnO) menjadi salah satu material yang banyak dikaji karena memiliki sifat semikonduktor oksida dengan stabilitas kimia yang baik, terutama pada struktur *wurtzite* yang mudah dimodifikasi serta ketersediaan bahan baku yang melimpah. ZnO dikenal sebagai material multifungsi karena dapat dimanfaatkan dalam bidang optoelektronik, sensor gas, fotokatalisis, hingga konversi energi termoelektrik (Sugihartono et al., 2023). Namun, ZnO murni secara alami memiliki

konduktivitas termal yang tinggi. Kondisi ini menjadi kurang optimal untuk diaplikasikan pada bidang termoelektrik yang membutuhkan material dengan konduktivitas listrik tinggi dan konduktivitas termal rendah untuk mencapai nilai *figure of merit* (ZT) yang besar. Keterbatasan pada material ZnO ini maka diperlukan rekayasa material untuk memperbaiki keterbatasannya (Bala et al., 2013).

Doping Fe dalam ZnO tidak hanya meningkatkan konsentrasi pembawa muatan melalui substitusi ion Zn^{2+} dengan Fe^{3+} , tetapi juga memperkenalkan tingkat energi baru dalam celah pita (*band gap*). Kehadiran tingkat energi ini dapat mempersempit *band gap*, meningkatnya mobilitas muatan, dan menurunkan hambatan pada proses transport elektron. Doping Fe dalam ZnO tidak hanya meningkatkan konsentrasi pembawa muatan melalui substitusi ion Zn^{2+} dengan Fe^{3+} , tetapi juga memperkenalkan tingkat energi baru dalam celah pita (*band gap*). Kehadiran tingkat energi ini dapat mempersempit *band gap*, meningkatkan mobilitas pembawa muatan, dan menurunkan hambatan pada proses transport elektron. Kombinasi perubahan struktur elektronik dan perilaku fonon ini menjadikan Fe-doped ZnO sebagai material yang memiliki potensi besar untuk aplikasi termoelektrik bersuhu tinggi (Zegadi et al., 2020).

Berbagai penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa ZnO yang diberi doping Fe pada konsentrasi tertentu mampu meningkatkan konduktivitas listrik sekaligus menurunkan konduktivitas termal, sehingga nilai ZT yang didapat meningkat (Zegadi et al., 2020). Namun, hingga saat ini penelitian mengenai Fe-ZnO dalam bentuk film tipis masih terbatas, terutama yang berfokus pada karakterisasi sifat termoelektrik pada suhu rendah. Selain itu, perbandingan performa antara konsentrasi doping 0%, 5%, 10%, dan 15% masih jarang dilaporkan untuk material yang disintesi menggunakan metode *spray coating*. Kondisi inilah yang menjadi dasar perlunya penelitian ini dilakukan.

Bedasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi doping Fe (0%, 5%, 10%, dan 15%) terhadap struktur

kristal, morfologi permukaan, serta sifat listrik dan termoelektrik film tipis ZnO yang disintesis menggunakan metode *spray coating*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, beberapa rumusan masalah yang dapat diambil adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana perubahan nilai koefisien Seebeck pada material ZnO:Fe dibandingkan dengan ZnO murni pada rentang suhu pengujian yang ditetapkan?
2. Bagaimana pengaruh variasi doping Fe terhadap struktur kristal dan morfologi permukaan thin film ZnO yang dihasilkan melalui metode *spray coating*?
3. Pada konsentrasi doping Fe berapakah diperoleh kinerja termoelektrik terbaik pada material thin film ZnO?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, beberapa tujuan penelitian yang dapat diambil adalah sebagai berikut :

1. Mengukur dan membandingkan nilai koefisien seebeck antara ZnO murni dan Fe-ZnO pada berbagai temperatur.
2. Menganalisis pengaruh varias konsentrasi doping Fe terhadap struktur kristal dan morfologi permukaan thin film ZnO yang disintesis menggunakan metode *spray coating*.
3. Menentukan kontribusi doping Fe terhadap peningkatan sifat termoelektrik material ZnO.

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, beberapa manfaat penelitian yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini membantu meningkatkan efisiensi pemanfaatan panas buangan melalui pengembangan material termoelektrik berbasis ZnO yang didoping Fe, sehingga dapat mendukung penyediaan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.
2. Penelitian ini memberikan pemahaman ilmiah mengenai pengaruh doping Fe terhadap struktur kristal, komposisi kimia, dan sifat termoelektrik ZnO, termasuk perubahan Seebeck, konduktivitas listrik, dan konduktivitas termal. Hasil ini dapat menjadi dasar bagi penelitian lanjutan dalam optimasi material termoelektrik.
3. Penelitian ini dapat memperkuat daya saing nasional dalam riset dan pengembangan teknologi energi terbarukan, khususnya pada bidang *waste heat recovery* dan perangkat mikro-termoelektrik, serta memberikan kontribusi penting dalam menghadapi tantangan global terkait krisis energi dan isu lingkungan.

