

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Dalam beberapa dekade terakhir, perkembangan di berbagai sektor industri modern, seperti material elektronik, perangkat magnetik, penyimpanan memori, *Light Emitting Diodes* (LED), sensor gas, sensor kelembaban, dan sel surya, berkaitan dengan material perovskite. Perovskite memiliki struktur kimia dengan rumus umum ABX_3 , dengan elemen A merupakan kation berukuran besar (*large-sized cation*), elemen B merupakan kation berukuran sedang (*medium-sized cation*), dan elemen X adalah anion (Tilley, 2016). Pada elemen A ditempati oleh ion logam tanah jarang, seperti Lantanum (La), Stronsium (Sr), dan Kalsium (Ca). Elemen B ditempati oleh ion logam transisi, seperti Mangan (Mn), Besi (Fe), dan Titanium (Ti) (Domínguez-Crespo *et al.*, 2024). Sementara itu, elemen X ditempati oleh anion seperti Fluor (F), Bromin (Br), Iodin (I), dan umumnya ditempati oleh oksigen (O) (Rong *et al.*, 2021). Perovskite dengan elemen X oksigen (O) merupakan perovskite tipe oksida yang memiliki rumus umum ABO_3 dan struktur kubik atau hampir kubik (dalam bentuk idealnya) (Assirey, 2019). Lantanum orthoferrite ($LaFeO_3$) merupakan salah satu perovskite tipe oksida. $LaFeO_3$ memiliki energi *band gap* sebesar 2.1 eV dan struktur kristal kubik atau ortorombik (Grabowska, 2016). $LaFeO_3$ juga telah diketahui memiliki sifat antiferromagnetik tipe-G dengan suhu Neel (T_N) sekitar 740 K (Al-Mamari, 2024). $LaFeO_3$ memiliki struktur yang stabil, stabilitas termal yang baik, serta sifat bawaan yang mengandung kekosongan oksigen (*oxygen vacancy*) yang dapat meningkatkan interaksi dengan molekul air, sehingga perovskite menjadi material yang menjanjikan untuk deteksi kelembaban (Yadav, 2024).

Dalam laporan lain, $LaFeO_3$ dilaporkan memiliki sifat ferromagnetik lemah yang ditunjukkan oleh sifat magnetiknya dengan nilai saturasi magnetik (M_s) sekitar 10 emu/g dan remanensi (M_r) sekitar 8 emu/g (Simbolon *et al.*, 2022). Namun, ditinjau dari sifat konduktivitas ion dan elektroniknya, $LaFeO_3$ masih relatif lemah untuk banyak aplikasi (Pushpa *et al.*, 2013). Selain itu, sensor

kelembapan berbasis perovskite masih terbatas karena LaFeO_3 umumnya menghasilkan sampel dengan luas permukaan spesifik yang rendah ($<10 \text{ m}^2/\text{g}$). Oleh karena itu, substitusi kation pada situs A atau B sangat diperlukan untuk meningkatkan struktur LaFeO_3 dengan metode sintesis yang tepat (Alaih *et al.*, 2024).

Terdapat beberapa metode sintesis perovskite oksida jenis LaFeO_3 untuk mengontrol ukuran partikel dan morfologi material, seperti reaksi keadaan padat, metode sol-gel, kopresipitasi, dan proses hidrotermal (Kaewpanha *et al.*, 2019). Di antara metode tersebut, metode sol-gel menjadi salah satu teknik paling sederhana untuk mensintesis struktur nano dan mikro berkualitas tinggi karena mampu mengontrol tekstur, ukuran, dan sifat permukaan material. Selain itu, metode sol-gel mudah diterapkan, biayanya rendah, dan mampu menghasilkan material dengan luas permukaan besar (Navas *et al.*, 2021).

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan konduktivitas listrik dan sifat material LaFeO_3 . Salah satu cara yang efektif adalah dengan mensubstitusi ion yang sesuai di posisi La^{3+} atau Fe^{3+} pada material LaFeO_3 . Misalnya, substitusi ion Ti pada $\text{LaFe}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$ menghasilkan perubahan sifat magnetik, ukuran kristalit, meningkatkan celah pita optik (*band gap*) dari 2.05 eV menjadi 2,61 eV, serta menunjukkan perilaku ferromagnetik lemah, yang menarik untuk aplikasi memori magnetik (Sasikala *et al.*, 2017). Substitusi ion Mn pada $\text{LaFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$ mempengaruhi sifat-sifat dielektrik material dengan mengurangi impedansi dan meningkatkan konstanta dielektrik. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa peningkatan doping Mn menyebabkan penurunan ukuran butir dan mempengaruhi sifat-sifat dielektrik melalui perubahan batas butir (Anugrah *et al.*, 2019). Selain itu, substitusi ion Sr dapat meningkatkan aktivitas katalitik LaFeO_3 di bawah cahaya tampak, terutama untuk degradasi polutan seperti Rhodamine B (RhB) dan 2,4-diklorofenol (2,4-DCP) dibandingkan dengan LaFeO_3 yang tidak didoping (Yin *et al.*, 2022).

Substitusi dengan ion Mg memiliki keunggulan dapat meningkatkan konduktivitas listrik material, karena adanya *hole carrier* yang dihasilkan dari penggantian ion Fe^{3+} (Utami & Triyono, 2020). Liu *et al.* (2008) juga telah

melaporkan bahwa doping Mg pada LaFeO_3 menghambat pertumbuhan ukuran butir, menurunkan resistansi, dan dapat meningkatkan konduktivitas melalui kompensasi elektrovalensi dan kekosongan oksigen. Substitusi Mg pada $\text{LaFe}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}_3$ ($x = 0.01$ dan 0.05) menghasilkan struktur kristal ortorhombik. Penurunan energi *band gap* optik dari 2.06 eV menjadi 1.73 eV seiring dengan peningkatan doping Mg menunjukkan peningkatan sifat konduksi (Dwimivanusa *et al.*, 2021). Penelitian lain melaporkan bahwa doping Mg pada $\text{LaFe}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}_3$ mempengaruhi sifat optik dan struktural material, dengan peningkatan kandungan Mg mengurangi ukuran kristalit rata-rata dan mempersempit energi celah pita (E_g) dalam rentang 1.74 hingga 1.84 eV, yang menunjukkan karakteristik semikonduktor (Yunita *et al.*, 2021).

Penelitian Zhang & Zheng (2023) menunjukkan bahwa doping Sr pada LaFeO_3 meningkatkan kinerja sensor kelembaban secara signifikan. Pada rasio atomik Sr/La sekitar 0.2 , sensor menunjukkan perubahan resistansi hingga 6×10^4 kali pada kelembaban relatif 90% , respons tinggi pada kelembaban rendah, dengan histeresis rendah dan stabilitas baik. Penelitian lain oleh Alaih *et al.* (2024) menunjukkan bahwa substitusi Ti pada elemen Fe dalam LaFeO_3 meningkatkan luas permukaan spesifik hingga 400% dan respons sensor sebesar 2094% . Sensor tersebut menghasilkan waktu respons cepat (4.4 detik), waktu pemulihan singkat (1.4 detik), hysteresis rendah ($<1\%$), dan stabilitas yang baik selama 28 hari pada 300 K.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, diketahui bahwa substitusi Mg dapat mempengaruhi sifat fisik dan kimia LaFeO_3 . Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan sintesis dan karakterisasi material perovskite $\text{LaFe}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}_3$ dengan variasi konsentrasi Mg ($x = 0.0, 0.1, \text{ dan } 0.3$) menggunakan metode sol-gel. Karakterisasi dilakukan untuk menganalisis pengaruh substitusi Mg terhadap struktur kristal, morfologi, komposisi unsur, sifat optik, serta sifat listrik dari material. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan material perovskite $\text{LaFe}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}_3$ sebagai bahan potensial untuk aplikasi sensor kelembaban.

B. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh substitusi Mg ($x = 0.0, 0.1, \text{ dan } 0.3$) terhadap struktur kristal, morfologi, sifat optik, dan sifat listrik material perovskite $\text{LaFe}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}_3$?
2. Bagaimana sensitivitas dan stabilitas material $\text{LaFe}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}_3$ ($x = 0.0, 0.1, \text{ dan } 0.3$) untuk aplikasi sensor kelembapan?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh substitusi Mg ($x = 0.0, 0.1, \text{ dan } 0.3$) terhadap struktur kristal, morfologi, sifat optik, dan sifat listrik material $\text{LaFe}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}_3$.
2. Menganalisis sensitivitas dan stabilitas material $\text{LaFe}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}_3$ ($x = 0.0, 0.1, \text{ dan } 0.3$) untuk aplikasi sensor kelembapan.

D. Manfaat Penelitian

Beberapa manfaat yang diharapkan dari penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Memberikan pengetahuan tentang pengaruh substitusi Mg terhadap struktur kristal, morfologi, dan sifat listrik material LaFeO_3 untuk pengembangan bahan dengan sifat fisik dan kimia yang dapat disesuaikan.
2. Menjadi referensi dalam pengembangan material sensor kelembapan berbasis perovskite oksida yang membutuhkan material dengan sifat konduktivitas dan stabilitas tinggi.