

# BAB I

## PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Kelembapan udara merupakan ukuran jumlah uap air di udara. Kelembapan udara dapat dinyatakan dalam variabel termodinamika seperti tekanan uap, suhu titik embun, dan rasio kelembapan (Farahani et al., 2014). Kelembapan udara dipengaruhi oleh jumlah kandungan uap air dan beberapa faktor lain yaitu temperatur, tekanan udara, pergerakan angin, kuantitas dan kualitas penyinaran serta vegetasi (Ihsan & Patandean, 2016). Apabila temperatur rendah, maka konsentrasi uap air dalam udara akan semakin tinggi konsentrasi uap air dalam udara dan kelembapan udara akan bertambah tinggi. Apabila temperatur tinggi, maka konsentrasi uap air dalam udara berkurang, sehingga kelembapan udara akan turun (Sari et al., 2021). Penambahan dan pengurangan kandungan uap air di udara berperan penting dalam berbagai bidang, termasuk pertanian, biologi, kimia, farmasi, manufaktur serta pengolahan dan penyimpanan makanan (Alwis et al., 2013). Oleh karena itu, pemantauan terhadap kelembapan udara perlu dilakukan untuk mengatur lingkungan atmosfer yang diinginkan. Pengaturan lingkungan atmosfer akan meningkatkan kebutuhan kondisi lingkungan tertentu. Akibatnya, perlu dikembangkan alat untuk mengamati, mendeteksi, dan mengendalikan kelembapan udara. Salah satu alat yang dapat dikembangkan adalah variasi sensor kelembapan berdasarkan metode fisis dan kimia dengan material anorganik, organik, serta *hybrid* (Farahani et al., 2014).

Sensor kelembapan atau *Relative Humidity* (RH) adalah alat untuk mendeteksi, mengukur jumlah uap air (molekul H<sub>2</sub>O) yang ada di udara dan mengubah menjadi besaran listrik seperti tegangan, arus, serta impedansi. Sensor kelembapan telah dikembangkan menjadi dua tipe, yaitu sensor resistif dan kapasitif (Maddul et al., 2010). Prinsip kerja dari sensor resistif didasarkan pada perubahan sifat konduktif bahan karena kelembapan, sedangkan sensor kapasitif didasarkan pada perubahan nilai kapasitansi bahan karena kelembapan (Fraden, 2010). Bahan yang sering digunakan untuk aplikasi sensor kelembapan tipe resistif

adalah sensor berbahan metal oksida seperti  $\text{TiO}_2$ , dan tipe kapasitif adalah polimer PMMA (Maddul et al., 2010). Namun, sensor kelembapan yang banyak digunakan adalah berbahan metal oksida karena strukturnya yang sederhana dan biaya rendah (Zhao et al., 2013). Selain itu, beberapa kelebihan sensor berbasis metal oksida adalah dapat di karakterisasi oleh koefisien temperatur rendah, kemampuan berfungsi pada suhu tinggi, cepat kembali ke keadaan semula dari kondensasi, dan tahan terhadap uap air kontaminan. Sensor kelembapan berbasis metal oksida memiliki kelemahan yaitu kurang bersifat *interchangeability*, tingkat kestabilan yang masih relatif rendah, dan sangat rentan terhadap efek interferensi elektromagnet (Maddul et al., 2010).

Meninjau kelemahan dan kelebihan sensor kelembapan berbasis metal oksida, maka perlu dilakukan pengoptimalan kinerja sensor seperti sensitivitas, revisibilitas, stabilitas jangka panjang serta waktu respons dan pemulihan. Peningkatan kinerja sensor kelembapan berkaitan dengan perubahan sinyal listrik dari penyerapan molekul air yang ada di udara pada permukaan bahan sensor kelembapan. Material metal oksida yang potensial untuk peningkatan kinerja sensor kelembapan adalah metal oksida berbasis perovskite. Material perovskite adalah senyawa organik-anorganik yang menghasilkan efisiensi baik dan berpotensi menjadi sumber energi alternatif yang stabil. Secara umum, rumus kimia dari material perovskite adalah  $\text{ABX}_3$ , dengan ion A diisi dengan ion organik-anorganik, ion B dengan atom logam divalen dan ion X merupakan anion yang termasuk unsur semi metal seperti C, N, O, dan B (Bhat et al., 2013). Secara umum, oksida perovskite memiliki mobilitas oksigen yang tinggi dan dapat tersubstitusi sebagian, sehingga menimbulkan konduktivitas ion (dari anion  $\text{O}_2$ ) dan konduktivitas elektronik dari pembawa muatan (Triyono et al., 2018). Penggunaan material perovskite sebagai sensor kelembapan, didukung oleh karakteristik yang menunjukkan sifat semikonduktor tipe-p dan konduktivitasnya meningkat seiring dengan penyerapan gas pengoksidasi (Traversa *et al.*, 1999). Di antara material perovskite, Lanthanum Orthoferrite ( $\text{LaFeO}_3$ ) telah diterapkan sebagai sensor kelembapan (Zhao et al., 2013).

Material  $\text{LaFeO}_3$  adalah material perovskite golongan oksida dan memiliki struktur ortorombik pada suhu kamar dengan grup ruang  $P_{n m a}$ . Struktur *orthorhombic* pada  $\text{LaFeO}_3$  memiliki dua situs oksigen berbeda yaitu  $\text{O}_1$  dan  $\text{O}_2$ . Dua situs oksigen berbeda mengakibatkan  $\text{LaFeO}_3$  mengalami defisiensi oksigen, sehingga material ini sensitif terhadap molekul air yang salah satu penyusunannya adalah oksigen (Ibrohim, 2023). Defisiensi oksigen pada  $\text{LaFeO}_3$  menunjukkan  $\text{LaFeO}_3$  termasuk semikonduktor tipe-p.  $\text{LaFeO}_3$  memiliki kelebihan yaitu sifat ganda unik seperti superkonduktivitas, magnetisasi dan adanya *mixed conductivity* antara ion-elektron yang menampilkan respons linear terhadap tekanan oksigen, sehingga dapat digunakan sebagai aplikasi elektrokeramik dan sensor oksigen (Fujii et al., 2011).

Pada pendeteksian kelembapan, material  $\text{LaFeO}_3$  memiliki kekosongan oksigen yang berguna untuk mengatur deteksi kelembapan melalui mekanisme Ghrothus. Akibatnya, respons sensitivitas sensor kelembapan dipengaruhi oleh rasio luas permukaan penyerapan air terhadap volume air (Alaih et al., 2024). Menurut penelitian (Rivas et al., 2010), bahwa pengaplikasian  $\text{LaFeO}_3$  pada sensor kelembapan menunjukkan luas permukaan untuk penyerapan molekul air di udara bernilai kurang dari  $10 \text{ m}^2/\text{g}$ , sehingga membatasi efisiensi sensor. Efisiensi sensor yang terbatas mengakibatkan rentang deteksi dan performanya belum optimal, sehingga perlu dilakukan substitusi atom untuk meningkatkan efisiensi sensor. Substitusi merupakan proses menggantikan salah satu atom  $\text{LaFeO}_3$  oleh atom lain yang memiliki ukuran dan valensi yang mirip, dengan tujuan untuk meningkatkan sifat fisisnya. Substitusi atom pada material  $\text{LaFeO}_3$  dapat dilakukan pada *site-A* atau *site-B*. Substitusi *site-A* di  $\text{LaFeO}_3$  menghasilkan permukaan  $\text{La-O}$  yang lebih reaktif dengan molekul air dan reaktivitas sensor terhadap molekul air meningkat (Stoerzinger et al., 2017).

sehingga perlu dilakukan substitusi untuk meningkatkan efisiensi sensor. Substitusi merupakan proses mengganti salah satu atom  $\text{LaFeO}_3$  dengan tujuan untuk meningkatkan sifat fisisnya. Pemberian substitusi pada material  $\text{LaFeO}_3$  dapat dilakukan pada situs-A atau situs-B. Substitusi *site-A* di  $\text{LaFeO}_3$  menghasilkan permukaan La – O yang lebih reaktif dengan molekul air dan reaktivitas sensor terhadap molekul air meningkat (Stoerzinger et al., 2017).

Sintesis modifikasi substitusi atom lain dalam material  $\text{LaFeO}_3$  dapat dilakukan dengan beberapa metode. Salah satu metode sintesis yang digunakan adalah metode sol-gel. Metode sol-gel merupakan metode alternatif sintesis nanopartikel yang mampu menyesuaikan struktur geometri dan ukuran partikel (Ardiansyah & Wahyuni, 2015). Metode sol-gel banyak digunakan saat sintesis nanopartikel karena bersifat homogen, mudah dilakukan, biaya yang relatif murah dan menghasilkan material cukup banyak. Metode sol-gel disebut sebagai metode basah atau “*wet method*” karena menggunakan larutan sebagai medianya (Phumying et al., 2013). Metode sol-gel sangat bergantung pada suhu dan pH. Menurut penelitian (Tijare et al., 2012), sintesis  $\text{LaFeO}_3$  dengan metode sol-gel menunjukkan peningkatan aktivitas produksi  $\text{H}_2$  di bawah iradiasi cahaya tampak dengan co-katalis Pt. Sintesis  $\text{LaFeO}_3$  dengan metode sol-gel memiliki keunggulan daripada metode lainnya. Hal ini dikarenakan pembentukan fase  $\text{LaFeO}_3$  bergantung terhadap suhu.

Cara yang dilakukan untuk meningkatkan performa sensor gas berbasis  $\text{LaFeO}_3$  adalah dengan substitusi magnesium (Mg) pada situs-A di  $\text{LaFeO}_3$ . Mg dapat digunakan untuk modifikasi  $\text{LaFeO}_3$  karena memiliki kation valensi yang lebih rendah dan berada di golongan yang sama dengan Ca, Sr, Ba, Ra (Liu et al., 2007). Saat  $\text{Mg}^{2+}$  menggantikan  $\text{La}^{3+}$ , resistensi  $\text{LaFeO}_3$  berkurang dan struktur  $\text{LaFeO}_3$  masih dipertahankan. Selain itu, Mg termasuk dalam ion *hard doping*, sehingga dapat menghasilkan sifat material ferroelektrik menjadi lebih *hardness*, seperti *loss dielektrik* yang rendah, sifat medan listrik koersif lebih tinggi, bulk resistivitas lebih rendah, faktor kualitas listrik dan mekanik lebih tinggi (Sueta et al., 2008). Berdasarkan penelitian (Liu et al., 2007), bahwa sintesis  $\text{La}_{1-x}\text{Mg}_x\text{FeO}_3$  ( $x = 0; 0,06; 0,08; 0,1; 0,2; 0,3; 0,5$ ) dengan metode sol-gel menunjukkan ukuran

kristalin mengalami penurunan seiring peningkatan konsentrasi substitusi  $Mg^{2+}$  dan hasil konduktivitas terbaik adalah  $La_{0.92}Mg_{0.08}FeO_3$ . Aplikasi  $La_{0.92}Mg_{0.08}FeO_3$  pada uji pengindraan gas, terlihat jika substitusi  $Mg^{2+}$  dapat meningkatkan respons  $LaFeO_3$  terhadap gas  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CH_4$ , dan  $C_2H_6O$ . Penelitian (Qin et al., 2015) melakukan substitusi Mg pada material  $La_{1-x}Mg_xFeO_3$  ( $x = 0; 0.02; 0.05; 0.1; 0.15$ ) dan menghasilkan respons tertinggi material  $La_{1-x}Mg_xFeO_3$  terhadap sensitivitas gas ketika nilai  $x$  adalah 0.05. Volume sel yang semakin mengecil seiring meningkatnya nilai  $x$  dan mempengaruhi vibrasi tekuk oktahedral serta simetri oktahedral oksigen. Penelitian (Jain & Subohi, 2022) menghasilkan bahwa substitusi Mg pada  $La_{1-x}Mg_xFeO_3$  ( $x = 0; 0.02; 0.05; 0.1; 0.15$ ) menghasilkan fasa tunggal *orthorhombic*. Berdasarkan data yang tertera pada penelitian tersebut, peningkatan substitusi Mg mengakibatkan terjadinya penurunan ukuran partikel. Hal ini menunjukkan bahwa Mg telah menggantikan La dengan baik di situs A dan menghambat pertumbuhan partikel lebih lanjut (Jain & Subohi, 2022). (Triyono et al., 2022) melakukan penelitian  $La_{1-x}Mg_xFeO_3$  dengan metode sintesis sol-gel menunjukkan jika struktur yang terbentuk adalah *orthorhombic* dan dari uji sifat listrik, nilai impedansi menurun seiring peningkatan kandungan Mg di *site-La*.

Berdasarkan penelitian terdahulu, bahwa parameter seperti morfologi, ukuran kristal, sifat listrik serta sensitivitas adalah hal yang berpengaruh terhadap pengaplikasian material perovskite di sensor. Penelitian (Liu et al., 2007) menyatakan jika hasil  $La_{1-x}Mg_xFeO_3$  yang optimal adalah ketika nilai “ $x$ ” kurang dari 0,1 dan hanya menguji sensitivitas terhadap gas untuk aplikasi sensor gas. Namun, aplikasi material perovskite  $La_{1-x}Mg_xFeO_3$  pada sensor kelembapan belum diteliti lebih lanjut. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan sintesis material perovskite  $La_{1-x}Mg_xFeO_3$  ( $x=0.0, 0.1, \text{ dan } 0.3$ ) dengan metode sol-gel untuk aplikasi sensor kelembapan. Pada sintesis ini, sampel serbuk yang diperoleh di karakterisasi dengan menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)*, *X-Ray Fluoresensi (XRF)*, *Scanning Electron Microscope- Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)*, *Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)* dan *Ultra Violet Visible Spectroscopy (UV-Vis)* untuk menganalisis sifat struktural, komposisi unsur, morfologi serta sifat optik  $La_{1-x}Mg_xFeO_3$  ( $x=0.0, 0.1, \text{ dan } 0.3$ ). Sampel serbuk yang diletakkan di atas

substrat bertujuan untuk menganalisis sifat listrik sampel  $\text{La}_{1-x}\text{Mg}_x\text{FeO}_3$  ( $x=0.0, 0.1,$  dan  $0.3$ ) dan sensor kelembapan. Harapan dari penelitian ini adalah pengembangan material  $\text{La}_{1-x}\text{Mg}_x\text{FeO}_3$  ( $x=0.0, 0.1,$  dan  $0.3$ ) untuk aplikasi sensor kelembapan berdasarkan sifat listrik material tersebut.

## **B. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh substitusi Mg di situs-La terhadap morfologi, struktur, sifat optik, dan sifat listrik material  $\text{La}_{1-x}\text{Mg}_x\text{FeO}_3$  ( $x=0.0, 0.1,$  dan  $0.3$ )?
2. Bagaimana pengaruh substitusi Mg pada situs-La dalam struktur  $\text{La}_{1-x}\text{Mg}_x\text{FeO}_3$  ( $x=0.0, 0.1,$  dan  $0.3$ ) terhadap sensitivitas material sebagai sensor kelembapan?

## **C. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dipaparkan, tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh substitusi Mg di situs-La terhadap morfologi, struktur kristal, sifat optik, dan sifat listrik material  $\text{La}_{1-x}\text{Mg}_x\text{FeO}_3$  ( $x=0.0, 0.1,$  dan  $0.3$ ).
2. Menganalisis dan memahami pengaruh substitusi Mg di situs-La dalam struktur  $\text{La}_{1-x}\text{Mg}_x\text{FeO}_3$  ( $x=0.0, 0.1,$  dan  $0.3$ ) terhadap sensitivitas material sebagai sensor kelembapan.

## **D. Manfaat Penelitian**

Adapun penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat terutama untuk:

1. Memberikan informasi mengenai pengaruh substitusi Mg pada situs-La di  $\text{LaFeO}_3$  terhadap morfologi, struktur kristal, sifat optik, dan sifat listrik.
2. Memberikan referensi untuk penelitian lebih lanjut mengenai aspek kinerja pengindraan sensitivitas material perovskite  $\text{LaFeO}_3$  dalam aplikasi sensor kelembapan.