

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pesatnya perkembangan teknologi elektronik serta meningkatnya kebutuhan energi secara signifikan telah mendorong penelitian dan pengembangan material fungsional yang memiliki kinerja unggul, stabilitas termal yang baik, dan ramah lingkungan. Salah satu kelompok material yang menarik perhatian adalah material feroelektrik, yaitu material yang punya kemampuan polarisasi spontan yang dapat diubah arahnya melalui penerapan medan listrik eksternal. Karakteristik tersebut menjadikan material feroelektrik berperan penting dalam berbagai aplikasi teknologi modern, seperti kapasitor dielektrik, memori non-volatil (*Ferroelectric Random Access Memory* atau FeRAM), perangkat optoelektronik, serta sistem penyimpanan energi¹.

Material feroelektrik konvensional yang banyak digunakan hingga saat ini adalah *Lead Zirconate Titanate* (PZT). Namun, kehadiran unsur timbal (Pb) dalam material tersebut menghasilkan limbah yang bersifat toksik dan berpotensi membahayakan lingkungan serta kesehatan manusia. Penggunaan timbal dalam perangkat elektronik telah menjadi perhatian dunia karena dampak negatifnya terhadap lingkungan. Upaya dalam mengurangi risiko tersebut, berbagai regulasi internasional, seperti *Restriction of Hazardous Substances* (RoHS), telah membatasi penggunaan material yang mengandung timbal. Oleh karena itu, pengembangan material feroelektrik bebas timbal (*lead-free ferroelectric materials*) menjadi salah satu fokus penelitian yang penting guna mendukung terciptanya teknologi yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan^{2,3}.

Senyawa berfasa Aurivillius atau *Bismuth Layer-Structured Ferroelectrics* (BLSFs) merupakan salah satu kandidat material feroelektrik bebas timbal yang banyak mendapat perhatian. Fasa Aurivillius tersusun atas lapisan perovskit $(A_{n-1}B_nO_{3n+1})^{2-}$ yang disisipkan diantara lapisan bismut $(Bi_2O_2)^{2+}$ dengan n adalah jumlah lapisan perovskit. Pada situs A adalah kation logam mono-, di- atau trivalent (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Bi^{3+} , Sr^{2+} , Ln^{3+}) sementara situs B adalah kation logam transisi (Fe^{3+} , Ti^{4+} , Nb^{5+}) yang dapat membentuk koordinasi oktahedral⁴. Keunikan struktur berlapis ini menghasilkan kestabilan termal yang baik, suhu Curie yang relatif tinggi, serta fleksibilitas dalam merekayasa sifat listrik, dielektrik, dan feroelektrik melalui substitusi ion pada situs A maupun situs B⁵.

$Bi_4Ti_3O_{12}$ (BiTO) merupakan salah satu anggota keluarga *Bismuth Layer-Structured Ferroelectrics* (BLSFs) yang berpotensi besar untuk dikembangkan sebagai material feroelektrik bebas timbal. Material ini memiliki keunggulan berupa sifat yang ramah lingkungan, kestabilan termal yang baik, serta suhu Curie yang tinggi, sehingga berpotensi diaplikasikan pada perangkat elektronik yang beroperasi pada suhu tinggi⁶. Meskipun demikian, beberapa sifat kelistrikan $Bi_4Ti_3O_{12}$, seperti konstanta dielektrik, polarisasi spontan, dan kemampuan

penyimpanan energi, masih perlu ditingkatkan untuk memenuhi kebutuhan aplikasi yang lebih luas.

Strategi yang banyak dilakukan untuk memodifikasi performa material tersebut adalah melalui substitusi ion atau doping. Pada penelitian ini, ion Sn^{2+} disubstitusikan pada situs A dengan menggantikan sebagian ion Bi^{3+} , sedangkan ion Nb^{5+} disubstitusikan pada situs B dengan menggantikan ion Ti^{4+} . Ion Sn^{2+} dipilih karena memiliki jari-jari ionik yang mirip dengan Bi^{3+} , sehingga dapat tersubstitusi dalam struktur kristal tanpa menimbulkan fasa tambahan. Keberadaan Sn^{2+} dapat membantu mengurangi volatilisasi Bi^{3+} selama proses sintering serta menekan pembentukan kekosongan oksigen yang dapat menurunkan kualitas sifat listrik material. Di sisi lain, substitusi Nb^{5+} pada situs B berpotensi meningkatkan distorsi oktahedra BO_6 akibat perbedaan jari-jari ionik dengan Ti^{4+} . Distorsi struktur tersebut dapat memperkuat interaksi dipol dalam kristal, sehingga meningkatkan sifat dielektrik dan feroelektrik material⁷.

Sintesis senyawa ini dilakukan menggunakan metode lelehan garam (*molten salt method*) dengan media reaksinya adalah campuran garam NaCl-KCl . Metode ini dipilih karena menawarkan berbagai keunggulan dibandingkan metode sintesis konvensional, di antaranya mampu menurunkan suhu sintesis, meningkatkan laju difusi ion, serta memberikan kontrol yang lebih baik terhadap pertumbuhan kristal. Selain itu, penggunaan media lelehan garam dapat menghasilkan partikel dengan morfologi yang lebih homogen, ukuran yang relatif seragam, dan tingkat kristalinitas yang tinggi⁸.

Hingga saat ini, penelitian mengenai substitusi kooperatif Sn^{2+} pada situs A dan Nb^{5+} pada situs B pada senyawa Aurivillius tiga lapis $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ yang disintesis menggunakan metode lelehan garam masih sangat terbatas. Substitusi kooperatif tersebut diharapkan mampu memodifikasi secara simultan struktur kristal, distorsi lokal oktahedra, mekanisme transport muatan, respon dielektrik, serta sifat feroelektrik material. Senyawa Aurivillius $\text{Bi}_{4-x}\text{Sn}_x\text{Ti}_{3-x}\text{Nb}_x\text{O}_{12}$ ($x = 0, 0,05, 0,1, 0,15, \text{ dan } 0,2$) yang dimodifikasi melalui substitusi ion Sn^{2+} dan Nb^{5+} diharapkan dapat menjadi kandidat material penyimpan energi ramah lingkungan dengan stabilitas yang baik pada suhu tinggi. Untuk mengevaluasi kinerja material terhadap pengaruh substitusi kation Sn^{2+} dan Nb^{5+} dilakukan analisis terhadap struktur kristal, morfologi permukaan, serta sifat dielektrik dan optik.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka dapat dibuat rumusan masalah sebagai berikut :

1. Apakah sintesis senyawa Aurivillius $\text{Bi}_{4-x}\text{Sn}_x\text{Ti}_{3-x}\text{Nb}_x\text{O}_{12}$ ($x = 0, 0,05, 0,1, 0,15, \text{ dan } 0,2$) berhasil dilakukan dengan metode lelehan garam ?
2. Bagaimana pengaruh variasi komposisi terhadap struktur, morfologi, dan sifat listrik dari senyawa produk ?
3. Bagaimana efisiensi penyimpanan energi listrik dari senyawa produk ?

1.3 Tujuan Khusus Riset

Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan penelitian ini adalah :

1. Mensintesis senyawa Aurivilius $\text{Bi}_{4-x}\text{Sn}_x\text{Ti}_{3-x}\text{Nb}_x\text{O}_{12}$ ($x = 0, 0,05, 0,1, 0,15, \text{ dan } 0,2$) melalui metode lelehan garam.
2. Menganalisis pengaruh variasi komposisi terhadap struktur, morfologi, dan sifat listrik dari senyawa produk.
3. Menganalisis efisiensi penyimpanan energi listrik dari senyawa produk.

1.4 Manfaat Riset

Riset ini memberikan informasi mengenai senyawa Aurivilius $\text{Bi}_{4-x}\text{Sn}_x\text{Ti}_{3-x}\text{Nb}_x\text{O}_{12}$ ($x = 0, 0,05, 0,1, 0,15 \text{ dan } 0,2$) yang berhasil disintesis melalui metode lelehan garam menggunakan variasi komposisi dopan Sn^{2+} dan Nb^{5+} yang berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan kapasitor dielektrik penyimpan energi berkapasitas tinggi.

