

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan dan penipisan energi fosil tradisional yang berlangsung cepat telah mendorong perkembangan pesat teknologi energi terbarukan yang berkelanjutan. Selain metode perolehan, efisiensi dalam penyimpanan dan kestabilan keluaran energi juga menjadi aspek yang sangat penting (Hameed *et al.*, 2024). Energi listrik merupakan bentuk energi yang paling penting, dan bentuk penyimpanan umumnya meliputi kapasitor dielektrik, superkapasitor, dan baterai sekunder (H. Yang *et al.*, 2023). Dibandingkan dengan superkapasitor dan baterai sekunder, kapasitor dielektrik memiliki banyak keunggulan, seperti kerapatan daya yang tinggi (10^8 W/kg), kecepatan pengisian dan pengosongan yang cepat (<1 μ s), dan siklus hidup yang panjang (50.000 kali) (Chen *et al.*, 2023). Sebagai salah satu komponen terpenting dalam peralatan daya pulsa, kapasitor dielektrik banyak digunakan dalam peralatan militer, peralatan medis, eksplorasi minyak dan gas, dan bidang lainnya (W. Bi *et al.*, 2024).

Kapasitor dielektrik memanfaatkan material dielektrik yang bersifat feroelektrik (normal dan relaksor), dan antiferoelektrik berdasarkan karakteristik polarisasinya di bawah medan listrik, yang menunjukkan perbedaan dalam loop histeresis (Shkuratov & Lynch, 2022). Senyawa perovskit, jenis oksida logam yang banyak diteliti, memiliki sifat menarik seperti konduktivitas ionik tinggi, dielektrik, piezoelektrik, feroelektrik, dan optik, sehingga potensial untuk penyimpanan energi dan teknologi canggih lainnya. Senyawa perovskit pertama kali dilaporkan oleh Gustav Rose pada tahun 1839 untuk senyawa CaTiO_3 (Katz, 2020). Senyawa perovskit memiliki rumus umum (ABO_3) yang tersusun atas kation A yang bermuatan mono, di, atau trivalensi (Na^+ , K^+ , Sr^{2+} , Bi^{3+} , dan Ln^{3+}), kation B dari golongan transisi (Fe^{3+} , Ti^{4+} , Nb^{5+} , dan lain-lain.), dan anion O^{2-} . Keunggulan utama material perovskit adalah fleksibilitas serta kemampuan substitusi kation pada posisi A dan B , yang mengakibatkan cacat dan distorsi dalam struktur kisi. Perubahan struktur ini sangat menguntungkan karena memungkinkan modifikasi sifat-sifat senyawa perovskit sesuai kebutuhan aplikasi (Singh MJP Rohilkhand *et al.*, 2022).

Bahan perovskit berbasis timbal seperti PbTiO_3 (PT), $\text{PbZr}_{0,5}\text{Ti}_{0,5}\text{O}_3$ (PZT), $\text{PbZn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3}\text{O}_3\text{-PbTiO}_3$ (PZN-PT) memiliki sifat yang sangat menarik (Li, Zeng, *et al.*, 2021). Bahan-bahan ini banyak digunakan sebagai bahan piezoelektrik, feroelektrik, dielektrik, dan perangkat penyimpanan energi (M. H. Zhang *et al.*, 2023). Namun, bahan berbasis timbal ini terkait dengan toksisitas yang telah menjadi masalah yang berbahaya bagi kesehatan manusia dan memiliki beberapa efek pada perubahan iklim dan polusi atmosfer (Malik *et al.*, 2022). Oleh karena itu, berbagai upaya telah dilakukan dalam beberapa tahun terakhir untuk menemukan alternatif bebas timbal dengan sifat yang menjanjikan. Keramik berbasis BNT telah menjadi salah satu bahan feroelektrik ramah lingkungan yang paling potensial dan kompetitif untuk penyimpanan energi, yang diharapkan menjadi pengganti bahan penyimpanan energi berbasis timbal (Sarathbavan *et al.*, 2022). BNT menunjukkan beberapa sifat dengan suhu Curie yang tinggi ($\sim 320^\circ\text{C}$) dan polarisasi remanen yang besar ($>40 \mu\text{C}/\text{cm}^2$). Namun, polarisasi sisa yang besar (P_r), medan listrik koersif (E_c) dan efisiensi energi yang rendah telah menjadi kendala utama dalam penerapannya pada perangkat penyimpanan energi dielektrik (Zeng *et al.*, 2024).

Laporan Smolenskii tentang BNT pada tahun 1961 mendorong banyak peneliti untuk lebih meningkatkan kinerja BNT dengan berbagai modifikasi (Devi *et al.*, 2021). Keramik berbasis BNT dengan sifat feroelektrik yang lebih baik dapat dicapai dengan substitusi parsial ion situs-A dengan Ba, Ca, La dan K sedangkan substitusi ion situs-B Ti dengan Nb, Fe, Zr (Jain *et al.*, 2024). Keberadaan lebih dari dua ion dengan jari-jari ionik dan muatan yang berbeda pada situs A/B akan mempengaruhi struktur BNT, yang menyebabkan ketidakteraturan kation. Ketidakteraturan ini dapat menghasilkan perilaku relaksor dan memunculkan permitivitas relatif dengan pola yang stabil pada rentang suhu dan frekuensi yang luas, akibat adanya keberadaan *Polar Nanoregions* (PNRs) yang saling berkoeksistensi secara lokal dari fase yang berbeda sehingga menghasilkan *loop* yang lebih ramping (Jain *et al.*, 2024)(Jayasri *et al.*, 2023).

Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya membuktikan bahwa modifikasi senyawa CaTiO_3 kedalam BNT dapat meningkatkan efisiensi penyimpanan energi hingga 81,02% untuk senyawa $\text{Bi}_{0,375}\text{Na}_{0,375}\text{Ca}_{0,25}\text{TiO}_3$

(Wendari *et al.*, 2025). Zhang *et al.* melaporkan keramik antiferroelektrik NN-BNT AFE/RFE dengan kerapatan penyimpanan energi sebesar $12,2 \text{ J/cm}^3$ dan efisiensi sedang sebesar 69% (L. Zhang *et al.*, 2023). Wang *et al.* juga melaporkan dari material berbasis CaTiO_3 dan BNT yang memiliki butiran keramik disempurnakan, yang mengarah pada peningkatan signifikan dalam kekuatan medan tembus dan berpuncak pada kerapatan penyimpanan energi sebesar $1,38 \text{ J/cm}^3$ dan nilai efisiensi penyimpanan energi 91,3% (Wang *et al.*, 2022). Selain itu, Yin *et al.* berhasil memperoleh kerapatan penyimpanan energi sebesar $\sim 2,49 \text{ J/cm}^3$ dan efisiensi penyimpanan energi sebesar $\sim 84\%$, yang berhubungan erat dengan perubahan sifat relaksor feroelektrik dalam BNT didoping NaNbO_3 (Yin *et al.*, 2023). Dapat diketahui bahwa NaNbO_3 merupakan salah satu senyawa yang bersifat antiferroelektrik yang memiliki kerapatan penyimpanan energi yang lebih besar dari linear dielektrik dan feroelektrik. Keunggulan ini menjadikan NaNbO_3 sangat cocok untuk digunakan dalam sistem konversi energi modern (Ahmad *et al.*, 2024).

Metode hidrotermal merupakan salah satu teknik yang banyak digunakan untuk mensintesis senyawa perovskit karena kesederhanaannya dan kemampuan menghasilkan material dengan kemurnian dan kristalinitas tinggi (Sun *et al.*, 2017). Proses sintesis ini dilakukan dalam autoklaf tertutup pada suhu dan tekanan tinggi, di mana prekursor kimia dilarutkan dalam larutan berair. Selama reaksi, suhu tinggi memfasilitasi pembentukan ikatan kimia yang stabil, sementara tekanan tinggi membantu mengontrol morfologi dan ukuran partikel (Z. Shi *et al.*, 2019). Biasanya, prekursor seperti oksida logam atau garam logam dicampur dengan larutan basa atau asam untuk mendorong reaksi kimia yang menghasilkan senyawa perovskite. Setelah proses reaksi selesai, produk yang terbentuk dicuci, dikeringkan, dan terkadang dipanaskan lebih lanjut untuk meningkatkan sifat kristalinitasnya. Keunggulan utama dari metode hidrotermal meliputi kemampuan untuk menghasilkan material dengan ukuran partikel nano yang seragam, mengontrol bentuk morfologi seperti nanokubus atau nanorod, dan menghasilkan material tanpa memerlukan suhu sintering yang sangat tinggi seperti pada metode konvensional (M. Hussain *et al.*, 2024). Selain itu, proses hidrotermal ramah

lingkungan karena menggunakan pelarut air dan minim limbah beracun, menjadikannya pilihan yang efisien untuk sintesis senyawa perovskit.

Berdasarkan hasil penelitian dan uraian di atas, maka pada penelitian ini akan dilakukan sintesis senyawa $0,75\text{Bi}_{0,5}\text{Na}_{0,5}\text{TiO}_3-(0,25-x)\text{CaTiO}_3-(x)\text{NaNbO}_3$ dengan komposisi ($x = 0; 0,02; 0,04; 0,06; 0,08; 0,1$) dengan metode hidrotermal. Karakterisasi senyawa produk menggunakan XRD, Spektroskopi Raman, SEM-EDX, dan DRS Uv-Vis. Sifat feroelektrik dan kinerja penyimpanan energi dianalisis menggunakan *Ferroelectric tester unit*. Eksplorasi senyawa feroelektrik sebagai bahan kapasitor dielektrik telah menjadi fokus utama peneliti dan masih sangat menjanjikan untuk dilakukan. Senyawa yang diteliti adalah formula baru dengan metode yang belum pernah sebelumnya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas dapat diajukan suatu rumusan masalah yaitu:

1. Apakah sintesis senyawa perovskit $0,75\text{Bi}_{0,5}\text{Na}_{0,5}\text{TiO}_3-(0,25-x)\text{CaTiO}_3-(x)\text{NaNbO}_3$ berhasil dilakukan menggunakan metode hidrotermal?
2. Bagaimanakah pengaruh variasi komposisi terhadap struktur, morfologi, dan sifat listrik dari senyawa produk?
3. Bagaimana kinerja dan nilai efisiensi penyimpanan energi listrik dari senyawa produk yang disintesis?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mensintesis senyawa perovskit formula baru $0,75\text{Bi}_{0,5}\text{Na}_{0,5}\text{TiO}_3-(0,25-x)\text{CaTiO}_3-(x)\text{NaNbO}_3$ menggunakan metode hidrotermal.
2. Menganalisis pengaruh variasi komposisi terhadap perubahan struktur, morfologi, dan sifat listrik senyawa produk.
3. Menghitung nilai rapat daya dan efisiensi penyimpanan energi dari senyawa produk yang disintesis.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan informasi terbaru mengenai pengaruh sintesis senyawa perovskit terhadap morfologi, sifat dielektrik dan feroelektrik yang berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan kapasitor dielektrik yang memiliki kinerja dan efisiensi penyimpanan energi listrik yang tinggi. Lebih jauh, penelitian

ini juga dapat mendukung kebijakan pemerintah untuk Ketahanan Energi Nasional dengan upaya pengembangan perangkat penyimpanan energi berdaya listrik besar dan efisien tinggi.

