

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi di berbagai sektor elektronik dan otomotif meningkat dengan sangat cepat seiring pertumbuhan populasi global dan perkembangan ekonomi. Berdasarkan data dari International Energy Agency, kebutuhan energi dunia telah meningkat lebih dari dua kali lipat dalam 40 tahun terakhir¹. Di sisi lain, berbagai permasalahan lingkungan seperti pencemaran, penipisan sumber daya alam dan perubahan iklim mendorong pengembangan sumber energi hijau dan berkelanjutan. Kondisi ini menjadikan teknologi penyimpanan energi sebagai salah satu fokus utama penelitian modern².

Berbagai perangkat penyimpanan energi telah dikembangkan, seperti baterai sekunder, *solid oxide fuel cells*, kapasitor elektrokimia dan kapasitor dielektrik. Di antara berbagai teknologi tersebut, kapasitor dielektrik menarik perhatian karena memiliki ketahanan tegangan yang sangat baik, densitas daya yang tinggi, kemampuan pengisian dan pelepasan muatan yang sangat cepat, serta umur siklus panjang. Oleh karena itu, kapasitor dielektrik banyak diaplikasikan pada perangkat elektronik, sistem daya pulsa, peralatan medis hingga elektronik kedirgantaraan³.

Kapasitor dielektrik umumnya berbahan dasar senyawa feroelektrik. Senyawa ini memiliki kemampuan untuk menyimpan energi melalui polarisasi muatan dalam struktur material saat diberikan arus listrik⁴. Kinerja kapasitor dielektrik sangat ditentukan oleh sifat material dielektriknya. Parameter penting dalam penyimpanan energi meliputi densitas energi yang dapat dipulihkan (W_{rec}), efisiensi penyimpanan energi (η), polarisasi maksimum (P_{max}), polarisasi remanen (P_r) dan *breakdown strength* (E_b). Material ideal untuk aplikasi penyimpanan energi adalah material dengan P_{max} tinggi, P_r rendah, rugi dielektrik kecil, serta kemampuan menahan medan listrik tinggi⁵.

BaTiO₃ merupakan salah satu material feroelektrik yang paling banyak diteliti untuk aplikasi penyimpanan energi karena memiliki konstanta dielektrik dan polarisasi maksimum (P_{max}) yang tinggi⁶. Namun, BaTiO₃ murni masih memiliki kelemahan berupa polarisasi remanen (P_r) yang besar dan kekuatan tembus (E_b) yang rendah, sehingga densitas energi yang dapat dipulihkan (W_{rec}) dan efisiensi penyimpanan energinya (η) belum optimal. Untuk meningkatkan performanya, berbagai strategi modifikasi telah dikembangkan, seperti doping ion, substitusi pada A-site dan B-site, rekayasa cacat, pembentukan larutan padat dengan material relaksor dan pengecilan ukuran butir. Modifikasi ini bertujuan untuk menekan P_r , meningkatkan E_b , membentuk polar *nanoregions* (PNRs) serta menghasilkan perilaku relaksor feroelektrik yang mendukung peningkatan performa penyimpanan energi⁷. Modifikasi menggunakan material dengan struktur perovskit LiNbO₃, yang memiliki suhu transisi *Curie* (T_c) sekitar 1100°C dan energi celah pita (E_g) sebesar 3,91 eV memberikan keuntungan. Hal ini bertujuan untuk menggabungkan keunggulan sifat dari masing-masing fasa material dan sekaligus memunculkan karakteristik relaksor dengan parameter penyimpanan energi yang

optimal. Selain itu ukuran jari-jari Li^+ yang lebih kecil diharapkan menghasilkan struktur kristal yang lebih terdistorsi pada sistem BaTiO_3 . Dari penelitian sebelumnya, kombinasi 2 perovskit ini menghasilkan suhu transisi *Curie* (T_c) sekitar 70°C dan efisiensi penyimpanan energi (η) sebesar 23%.

Selain senyawa BaTiO_3 dan LiNbO_3 , senyawa perovskit bebas timbal lain yang menarik diteliti adalah $\text{Na}_{0,5}\text{Bi}_{0,5}\text{TiO}_3$. $\text{Na}_{0,5}\text{Bi}_{0,5}\text{TiO}_3$ memiliki polarisasi maksimum tinggi ($P_{\max} > 40 \mu\text{C}/\text{cm}^2$), dan suhu *Curie* tinggi ($T_c 320^\circ\text{C}$). Substitusi kation A berukuran berbeda seperti Na^+ dan Bi^{3+} dari senyawa $\text{Na}_{0,5}\text{Bi}_{0,5}\text{TiO}_3$ menimbulkan ketidakcocokan ukuran ion yang signifikan dan ketidakseimbangan muatan yang menghasilkan medan listrik acak lokal dan daerah polar nano (*PNRs*) di dalam kisi. Mahapatra dkk. meneliti pengaruh doping Bi terhadap struktur, sifat dielektrik dan feroelektrik keramik berbasis BaTiO_3 , menunjukkan bahwa ion Bi^{3+} menggantikan ion Ba^{2+} pada A-site kisi kristal menyebabkan ukuran butir menurun, konstanta dielektrik berkurang dan suhu transisi fasa (T_c) meningkat. Selain itu, sifat feroelektrik juga mengalami peningkatan, yang ditandai dengan naiknya polarisasi remanen (P_r) dan medan koersif (E_c) seiring bertambahnya kandungan Bi⁸.

Metode *solid-state* merupakan metode yang umum digunakan untuk mensintesis keramik perovskit. Namun, metode ini biasanya memerlukan suhu reaksi yang sangat tinggi sehingga menyebabkan pembesaran ukuran partikel dan penguapan bismut, yang mengakibatkan komposisi menjadi tidak stoikiometri serta terbentuknya fase sekunder yang tidak diinginkan⁹. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, metode sintesis *molten salt* menawarkan keunggulan karena memungkinkan proses reaksi berlangsung pada suhu yang lebih rendah, sehingga risiko penguapan dapat dikurangi dan waktu reaksi menjadi lebih singkat¹⁰. Pada BaTiO_3 , metode *molten salt* terbukti mampu menghasilkan partikel dengan kristalinitas yang baik dan bentuk partikel yang terarah, seperti nanorod atau platelet, yang menguntungkan untuk menghasilkan keramik berdensitas tinggi dan mengoptimalkan performa dielektrik. Selain itu, metode ini juga diharapkan dapat mendukung distribusi Na dan Bi yang lebih homogen di dalam kisi BaTiO_3 ⁷.

Berdasarkan uraian diatas, pada penelitian ini dilakukan eksplorasi senyawa perovskit baru dengan formula $(1-x)(0,96\text{BaTiO}_3-0,04\text{LiNbO}_3)-x(\text{Na}_{0,5}\text{Bi}_{0,5}\text{TiO}_3)$ dan potensinya sebagai bahan penyimpan energi listrik. Teknik sintesis yang digunakan adalah lelehan garam menggunakan campuran NaCl/KCl sebagai media reaksi. Selanjutnya, dilakukan analisis karakteristik senyawa produk, sifat listrik dan parameter penyimpanan energi secara lengkap untuk membuktikan potensi senyawa ini sebagai bahan kapasitor dielektrik penyimpan energi listrik.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan permasalahan yang diidentifikasi dari latar belakang di atas adalah:

1. Apakah sintesis senyawa perovskit $(1-x)(0,96\text{BaTiO}_3-0,04\text{LiNbO}_3)-x(\text{Na}_{0,5}\text{Bi}_{0,5}\text{TiO}_3)$ berhasil dilakukan menggunakan metode lelehan garam?

2. Bagaimana pengaruh variasi campuran senyawa terhadap struktur, morfologi dan sifat listrik dari senyawa produk?
3. Bagaimana kinerja dan 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 $(1-x)(0,96\text{BaTiO}_3-0,04\text{LiNbO}_3)-x(\text{Na}_{0,5}\text{Bi}_{0,5}\text{TiO}_3)$ menggunakan metode lelehan garam.
2. Melakukan analisis pengaruh variasi campuran senyawa terhadap struktur, morfologi dan sifat listrik dari senyawa produk.
3. Menganalisis kinerja dan efisiensi penyimpanan energi listrik dari senyawa produk yang disintesis.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan menghasilkan senyawa baru yang berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan kapasitor dielektrik yang memiliki kinerja dan efisiensi penyimpanan energi listrik yang tinggi. Keberhasilan metode lelehan garam dalam proses sintesis diharapkan dapat memberi pilihan metode dalam sintesis bidang material. Lebih lanjut, penelitian ini juga dapat mendukung kebijakan pemerintah untuk Ketahanan Energi Nasional dengan upaya pengembangan perangkat penyimpanan energi berdaya listrik besar dan efisien tinggi.

