

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan pertumbuhan populasi global dan percepatan industrialisasi, permintaan energi terus meningkat. Menurut laporan Union of Concerned Scientist (UCS), permintaan energi global diperkirakan terus meningkat setiap dekade selama beberapa periode terakhir. Survei menunjukkan bahwa konsumsi energi hampir dua kali lipat dalam beberapa dekade terakhir¹. Konsumsi energi global primer diperkirakan mencapai 146.000 TWh pada tahun 2015, yang merupakan peningkatan sekitar 25 kali lipat dibandingkan tahun 1800. Konsumsi listrik global juga meningkat dari sekitar 136.129 TWh pada tahun 2008 menjadi 2,9%. Konsumsi energi diperkirakan akan meningkat sebesar 41% pada tahun 2040. Tren peningkatan kebutuhan energi ini menimbulkan tantangan penting, yaitu perlunya sistem penyimpanan energi yang memadai untuk ketersediaan energi berkelanjutan. Saat ini, bahan penyimpanan energi yang umum digunakan meliputi kapasitor dielektrik, baterai, bahan pembakaran padat, dan sebagainya².

Di antara berbagai jenis perangkat penyimpan energi komersil tersebut, kapasitor dielektrik banyak diteliti sebagai aplikasi penyimpanan energi pada perangkat bersuhu kinerja tinggi 200-500°C. Kapasitor dielektrik memanfaatkan bahan dielektrik yang mampu menyimpan energi dalam medan listrik tanpa melibatkan reaksi kimia, sehingga meminimalkan degradasi material. Selain itu, kapasitor dielektrik memiliki waktu pengisian-pengosongan yang singkat, sehingga menjadikannya sebagai komponen penting pada perangkat elektronik *pulse power* yang memerlukan respon arus cepat dalam jumlah besar, seperti pada mesin generator, alat kejut jantung, laser, perangkat militer dan lainnya. Keunggulan penting lainnya adalah siklus penggunaan berulang yang panjang (~50.000 siklus) tanpa mengalami penurunan kinerja yang signifikan, kepadatan daya yang tinggi, stabilitas frekuensi, serta karakteristiknya yang ramah lingkungan³.

Kapasitor dielektrik biasanya berbahan dasar senyawa feroelektrik dan antiferroelektrik. Senyawa ini dapat menyimpan energi melalui mekanisme polarisasi muatan di dalam struktur material saat diberikan arus listrik. Polarisasi ini menciptakan medan listrik internal yang memungkinkan energi disimpan dan dilepaskan sesuai kebutuhan⁴. Senyawa oksida perovskit dengan struktur ABO_3 , seperti $BaTiO_3$, $NaNbO_3$, $BiFeO_3$, $Na_{0,5}Bi_{0,5}TiO_3$, $LiNbO_3$ dan lainnya, merupakan kandidat kapasitor dielektrik paling banyak diteliti. Struktur ABO_3 mengacu pada susunan atom di mana ion A (umumnya kation berukuran besar, seperti Ba^{2+} atau Na^+) menempati posisi sudut dalam sel unit kristal, ion B (kation berukuran kecil, seperti Ti^{4+} atau Fe^{3+}) berada di pusat oktahedron oksigen, dan ion O^{2-} membentuk rangkaian oktahedron yang saling terhubung. Sifat feroelektrik dan antiferolektrik dari senyawa perovskit ABO_3 dipengaruhi oleh distorsi pada struktur kristalnya akibat pergeseran ion B atau deformasi oktahedron oksigen⁵.

Senyawa perovskit $NaNbO_3$ (NNO) adalah senyawa antiferolektrik yang banyak diteliti

sebagai bahan kapasitor dielektrik karena keunggulannya yang memiliki sifat celah pita yang lebar ($E_g = 3,4 \text{ eV}$) dan densitas rendah ($\rho = 4,53 \text{ g/cm}^3$). Senyawa ini memiliki loop histerisis ganda dengan polarisasi maksimum tinggi dan polarisasi residual rendah, sehingga menghasilkan perbedaan polarisasi (ΔP) yang besar dan meningkatkan efisiensi penyimpanan energi. Pita energi yang lebar menunjukkan bahwa bahan ini mampu menahan medan listrik tinggi, karena elektron memerlukan energi yang besar untuk berpindah dari pita konduksi, sehingga mengurangi arus bocor dan panas yang dapat merusak bahan dielektrik. Dibandingkan dengan bahan dielektrik lain seperti $\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$ (PZT), AgNbO_3 (AN), BaTiO_3 (BT), dan $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3$ (NBT), NNO lebih ramah lingkungan karena tidak mengandung timbal, memiliki pita energi yang lebih lebar dan densitas yang lebih rendah dibanding AN, serta bahan bakunya lebih murah dibandingkan perak yang digunakan pada AN. Selain itu, NNO menunjukkan sifat antiferroelektrik dan nilai ΔP yang tinggi dibandingkan BT dan NBT⁶. Namun, perubahan fase pada NNO, seperti transisi irreversibel dari fase antiferroelektrik *Pbcm* (fase P) menuju struktur *P2₁ma* (fase Q), menyebabkan efisiensi penyimpanan energi dan jumlah energi yang dapat disimpan masih terbatas. Untuk mengatasi keterbatasan ini, berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengatasi perubahan struktur dan transisi fase, salah satunya melalui pengontrolan dan morfologi partikel (pendekatan *controlled synthesis*)⁷.

Pengontrolan ukuran dan morfologi partikel menjadi aspek penting yang memengaruhi sifat senyawa perovskit selain dari pendekatan desain formula. Partikel berukuran kecil (nano) dan terdistribusi homogen dapat meningkatkan stabilitas dan efisiensi penyimpanan energi melalui efek peningkatan luas permukaan. Hal ini memungkinkan interaksi optimal dengan medan listrik dan respon yang lebih cepat terhadap perubahan arah medan dipol. Penelitian oleh Pattipaka et al., (2024) melaporkan tentang pengaruh ukuran butir pada keramik $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{TiO}_3$, dengan rentang ukuran butir dari $0,5 \mu\text{m}$ hingga $5,6 \mu\text{m}$ untuk mengevaluasi kinerja penyimpanan energi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sampel dengan ukuran butir $0,5 \mu\text{m}$ menunjukkan nilai W_{rec} yang lebih tinggi, yaitu $1,28 \text{ J/cm}^3$.

Agan pembentuk dan penstabil butiran (*capping agent*) dapat digunakan pada proses sintesis untuk mencapai ukuran dan morfologi partikel yang optimal. Gharibshahian et al., (2024) melaporkan pengaruh penggunaan asam oksalat sebagai *capping agent* pada sintesis nanopartikel KTiOPO_4 menghasilkan ukuran partikel sebesar 55 nm dengan ukuran butir sebesar $12,54 \text{ nm}$ ⁹. Salah satu inovasi dalam pendekatan ini adalah penggunaan *capping agent* alami yang bersumber dari ekstrak tumbuhan yang memiliki senyawa metabolit sekunder dengan gugus hidroksil (-OH). Penggunaan ekstrak dari tumbuhan ini juga mendukung prinsip *green synthesis* yang memberikan kontribusi terhadap inovasi teknologi yang ramah lingkungan dan pengurangan penggunaan bahan kimia berbahaya. Kazemi et al., (2023) melaporkan bahwa penggunaan ekstrak tumbuhan dalam sintesis nanomaterial dapat menghasilkan material dengan morfologi yang terkontrol dan sifat fisik yang ditingkatkan.

Berdasarkan uraian di atas, pada penelitian ini digunakan metode hidrotermal dengan penambahan ekstrak tumbuhan sebagai *capping agent* alami untuk mensintesis senyawa perovskit NaNbO_3 . Ekstrak tumbuhan yang digunakan berasal dari daun Andalas (*Morus macroura* Miq.) yang merupakan tumbuhan endemik Sumatera Barat. Daun Andalas diketahui mengandung senyawa metabolit sekunder yang memiliki gugus $-\text{OH}$ dan $-\text{C}=\text{O}$ yang berperan membentuk lapisan pelindung (*capping*) pada sintesis senyawa oksida logam sehingga menghasilkan ukuran partikel yang terkontrol¹¹. Inovasi metode sintesis dari senyawa perovskit ini melalui pendekatan *green synthesis* ini juga belum pernah diteliti sebelumnya menjadikan inovasi kebaruan dari penelitian ini.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan permasalahan yang diidentifikasi dari latar belakang di atas adalah:

1. Apakah sintesis senyawa perovskit NaNbO_3 berhasil membentuk senyawa murni menggunakan metode hidrotermal dengan penambahan ekstrak daun Andalas sebagai *capping agent*?
2. Bagaimana pengaruh variasi penggunaan jumlah ekstrak terhadap morfologi dan sifat listrik dari senyawa NaNbO_3 yang disintesis?
3. Bagaimana kinerja dan efisiensi penyimpanan energi listrik dari senyawa NaNbO_3 yang disintesis?

1.3 Tujuan Penelitian

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

1. Melakukan sintesis senyawa perovskit NaNbO_3 menggunakan metode hidrotermal dengan penambahan *capping agent* yang bersumber dari ekstrak daun Andalas.
2. Melakukan analisis pengaruh variasi penggunaan jumlah ekstrak terhadap morfologi dan sifat listrik dari senyawa NaNbO_3 yang disintesis.
3. Menganalisis kinerja dan efisiensi penyimpanan energi listrik dari senyawa NaNbO_3 yang disintesis.

1.4 Manfaat Riset

Penelitian ini diharapkan menghasilkan senyawa perovskit NaNbO_3 dengan kinerja penyimpanan energi yang optimal melalui variasi komposisi campuran, sehingga berkontribusi pada pengembangan kapasitor dielektrik berkapasitas tinggi yang dapat diaplikasikan pada perangkat elektronik modern. Selain itu, pemanfaatan ekstrak daun Andalas sebagai *capping agent* alami menawarkan solusi inovatif untuk kontrol morfologi partikel, sekaligus membuktikan potensi sumber daya alam endemik Sumatera Barat. Langkah ini mendukung penciptaan teknologi ramah lingkungan dengan mengurangi ketergantungan pada bahan kimia berbahaya, serta mendorong pemanfaatan sumber daya lokal Indonesia untuk menghasilkan produk teknologi bernilai tinggi.