

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi panas merupakan salah satu bentuk energi yang banyak digunakan dalam berbagai proses industri. Tingginya penggunaan energi panas menyebabkan terbentuknya panas buangan sebagai energi termal sisa yang tidak dimanfaatkan selama proses produksi. Industri manufaktur merupakan salah satu sektor dengan konsumsi energi yang tertinggi dan menghasilkan panas buangan dalam jumlah yang besar melalui berbagai proses, seperti boiler uap, inserator, dan tungku pemanas. Semakin tinggi suhu panas buangan, maka semakin tinggi pula kualitas panas tersebut. Apabila panas buangan tidak dimanfaatkan kembali maka panas tersebut akan dilepaskan ke atmosfer sehingga dapat memperparah pemanasan global, yang memicu peristiwa iklim ekstrem¹.

Besarnya energi panas yang terbuang mendorong pemanfaatan panas buangan dan sumber energi terbarukan seiring upaya mencari solusi energi berkelanjutan. Globalisasi mendorong untuk beralih terhadap energi hijau akibat meningkatnya permintaan energi dalam kehidupan sehari-hari, yang masih dipenuhi oleh bahan bakar fosil yang semakin menipis dan berkontribusi terhadap penurunan kualitas udara. Panas buangan ini dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik melalui konversi termoelektrik². Potensi pemanfaatan panas buangan telah ditunjukkan pada industri petrokimia di China yang mampu menghasilkan listrik dan menghemat penggunaan batu bara mentah sehingga emisi CO₂ yang dilepaskan juga dapat berkurang¹.

Termoelektrik merupakan teknologi berbasis material yang mampu mengubah perbedaan temperatur secara langsung menjadi energi listrik melalui efek Seebeck. Efek Seebeck terjadi ketika dua material semikonduktor yang berbeda dihubungkan dan diberikan perbedaan temperatur antara sisi panas dan sisi dinginnya, sehingga timbul perbedaan tegangan listrik. Besarnya tegangan yang dihasilkan berkaitan dengan gradien temperatur yang diberikan. Teknologi termoelektrik memiliki beberapa keunggulan, antara lain tidak memerlukan komponen mekanik yang bergerak, bekerja tanpa menghasilkan suara, serta dapat diaplikasikan pada rentang temperatur yang luas².

Efisiensi material termoelektrik umumnya dinilai menggunakan *figure of merit* (ZT) yang dipengaruhi oleh koefisien Seebeck (S), konduktivitas listrik (σ), temperatur, dan konduktivitas termal (κ), yang terdiri atas kontribusi elektronik dan kisi. Nilai ZT yang tinggi memerlukan kombinasi koefisien Seebeck dan konduktivitas listrik yang tinggi serta konduktivitas termal yang rendah. Berbagai strategi seperti nanostruktur dan pendopingan telah dikembangkan untuk meningkatkan performa termoelektrik melalui pengaturan transport elektron. Sejumlah material termoelektrik anorganik, seperti *skutterudite*, *clathrate*, senyawa Zintl, paduan *half-Heusler*, dan *metal dichalcogenide*, telah menunjukkan nilai ZT yang tinggi. Namun, beberapa material termoelektrik konvensional seperti Bi₂Te₃, PbTe, dan GeTe masih menghadapi

keterbatasan berupa biaya yang relatif tinggi, penggunaan unsur yang langka atau berbahaya, serta kestabilan termal yang kurang baik pada temperatur tinggi².

Sebagai alternatif, material berbasis oksida menarik untuk dikembangkan karena memiliki stabilitas termal dan kimia yang baik, relatif tidak toksik, serta lebih ekonomis. Namun, pada material oksida masih terdapat keterkaitan antara transport elektron dan fonon yang menyebabkan peningkatan konduktivitas listrik dan penurunan konduktivitas termal sulit dicapai secara bersamaan. Salah satu material oksida yang banyak dikembangkan untuk aplikasi termoelektrik adalah stronsium titanat (SrTiO_3). SrTiO_3 merupakan material dengan struktur perovskit kubik ABO_3 dan memiliki grup ruang $Pm3m$ pada temperatur ruang, dengan Sr^{2+} menempati situs A dan Ti^{4+} menempati situs B yang dikelilingi oleh enam ion O^{2-} membentuk oktahedron TiO_6 . SrTiO_3 memiliki celah pita energi yang lebar, yaitu sekitar 3,2 eV, dan konsentrasi pembawa muatan intrinsik yang rendah sehingga memiliki konduktivitas listrik yang rendah. Selain itu, SrTiO_3 memiliki koefisien Seebeck yang relatif tinggi serta kestabilan yang baik pada temperatur tinggi³.

Meskipun memiliki potensi sebagai material termoelektrik tipe-n, SrTiO_3 masih memiliki beberapa keterbatasan. Konsentrasi pembawa muatan intrinsiknya yang rendah menyebabkan transport listrik yang kurang baik, sedangkan konduktivitas termal kisinya relatif tinggi sehingga panas masih mudah ditransmisikan melalui kisi. Kedua sifat tersebut membatasi peningkatan performa termoelektrik SrTiO_3 . Berbagai strategi telah dikembangkan untuk mengatasi keterbatasan SrTiO_3 , di antaranya doping aliovalen untuk meningkatkan konsentrasi pembawa muatan, nanostrukturisasi untuk meningkatkan hamburan fonon, rekayasa cacat untuk mengatur transport muatan dan panas, serta pembentukan komposit untuk memodifikasi sifat transport material⁴.

Salah satu pendekatan rekayasa material skala nano pada SrTiO_3 dapat dilakukan melalui pengendalian morfologi partikel menjadi nanokubus menggunakan metode solvotermal. Metode ini memungkinkan pengendalian proses nukleasi dan pertumbuhan kristal melalui pengaturan kondisi sintesis sehingga dapat menghasilkan morfologi yang terkontrol. Morfologi nanokubus memiliki bidang permukaan yang datar, sisi dan sudut yang tegas, serta memungkinkan susunan partikel yang lebih teratur. Susunan tersebut dapat meningkatkan kontak antarpartikel dan menghasilkan densitas relatif yang lebih tinggi setelah proses sintering, sehingga transport muatan antarpartikel menjadi lebih baik. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa SrTiO_3 dengan morfologi nanokubus yang seragam memiliki konduktivitas listrik yang lebih tinggi dibandingkan SrTiO_3 dengan nanokubus yang tidak seragam⁵.

Selain melalui pengendalian morfologi, peningkatan sifat kelistrikan SrTiO_3 dapat dilakukan melalui pembentukan komposit dengan material yang memiliki konduktivitas listrik tinggi. Salah satu material yang dapat digunakan adalah perak (Ag), yang memiliki konduktivitas listrik tinggi. Keberadaan Ag pada permukaan maupun batas antarbutir SrTiO_3

dapat membantu membentuk jalur transport muatan. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pembentukan nanokomposit Ag-SrTiO₃ mampu menghasilkan konduktivitas listrik yang lebih tinggi dibandingkan SrTiO₃ murni⁶.

Pembentukan komposit Ag-SrTiO₃ memerlukan proses reduksi ion Ag⁺ menjadi Ag⁰. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan adalah *green synthesis* dengan memanfaatkan senyawa dari ekstrak tumbuhan sebagai bioreduktor. Daun gambir (*Uncaria gambir* Roxb.) merupakan salah satu bahan alam yang berpotensi digunakan sebagai bioreduktor karena mengandung senyawa polifenol, terutama katekin, yang kaya akan gugus hidroksil. Gugus hidroksil dapat berperan sebagai donor elektron dalam proses reduksi ion Ag⁺ menjadi Ag⁰⁷.

Pemanfaatan ekstrak daun gambir sebagai bioreduktor dalam sintesis nanokomposit Ag-SrTiO₃ telah dilakukan pada penelitian sebelumnya. Putri dkk., (2025) menggunakan Ag 0,5% dengan ekstrak daun gambir 0,5% (perbandingan 1:1) dan diperoleh peningkatan hantaran listrik dibandingkan SrTiO₃ murni namun masih ditemukan fase pengotor SrCO₃. Penelitian tersebut kemudian dilanjutkan oleh Khairani (2025) dengan memvariasikan konsentrasi Ag menggunakan perbandingan volume AgNO₃ dan ekstrak daun gambir 1:1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nanopartikel Ag berhasil terbentuk pada seluruh variasi, namun fase pengotor SrCO₃ masih ditemukan. Hasil TEM menunjukkan bahwa partikel mengalami pembengkakan dan ukurannya yang tidak seragam⁸. Kondisi tersebut diduga berkaitan dengan jumlah ekstrak daun gambir yang terlalu tinggi sehingga dapat menghambat proses nukleasi dan pertumbuhan kristal⁶.

Pada penelitian ini, akan dilanjutkan mensintesis nanokomposit Ag-SrTiO₃ berbentuk struktur nanokubus menggunakan metode solvotermal dengan bantuan ekstrak daun gambir sebagai bioreduktor. Akan tetapi jumlah ekstrak gambir yang ditambahkan pada senyawa yang akan disintesis dikurangi dalam membentuk Ag-SrTiO₃. Setelah itu akan dianalisis struktur dan morfologinya serta melihat pengaruhnya terhadap nilai hantaran listrik melalui pengukuran nilai hantaran listrik. Peningkatan hantaran listrik merupakan salah satu parameter utama dalam meningkatkan kinerja material termoelektrik. Oleh karena itu, penelitian ini tidak hanya berkontribusi pada pengembangan material fungsional berbasis nanoteknologi, tetapi juga mendukung upaya pencarian sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan melalui pemanfaatan sumber daya alam hayati.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi Ag terhadap pembentukan nanokomposit Ag-SrTiO₃ yang disintesis secara solvotermal menggunakan ekstrak daun gambir sebagai bioreduktor?
2. Bagaimanakah struktur kristal dan morfologi nanokomposit Ag-SrTiO₃ yang dihasilkan?
3. Berapakah nilai hantaran listrik yang dihasilkan nanokomposit Ag-SrTiO₃?

1.3 Tujuan Penelitian

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

1. Menganalisis pengaruh variasi konsentrasi Ag terhadap pembentukan nanokomposit Ag-SrTiO₃ yang disintesis secara solvothermal menggunakan ekstrak daun gambir sebagai bioreduktor.
2. Menganalisis struktur kristal dan morfologi nanokomposit Ag-SrTiO₃ hasil sintesis.
3. Menghitung nilai hantaran listrik nanokomposit Ag-SrTiO₃ hasil sintesis.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai pengoptimalan sifat termoelektrik pada SrTiO₃ melalui pembentukan komposit dengan Ag dan penambahan ekstrak daun gambir sebagai bioreduktor. Penggunaan ekstrak daun gambir diharapkan dapat menjadi alternatif pengganti zat pereduksi sintetis serta memaksimalkan pemanfaatan daun gambir (*Uncaria gambir* Roxb.) yang melimpah di Sumatera Barat.

