

## BAB I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada era milenial ini, pemakaian kendaraan bermotor semakin meningkat sehingga hampir setiap kegiatan manusia tidak lepas dari penggunaan alat transportasi tersebut. Hal ini telah membuat kemajuan pesat dibidang transportasi dan bidang lain secara tidak langsung. Dibalik semua itu, meningkatnya pemakaian kendaraan bermotor dapat meningkatkan konsumsi energi, khususnya energi yang bersumber dari fosil dalam bentuk batu bara, minyak bumi, dan gas alam. Berdasarkan tinjauan statistik BP (*British Petroleum*) untuk dunia energi 2016, cadangan batu bara akan bertahan sekitar 115 tahun, dan cadangan minyak dan gas alam akan bertahan sekitar 50 tahun lagi<sup>1</sup>. Disisi lain, pembakaran yang tidak sempurna pada kendaraan bermotor akan mengeluarkan gas  $CO_x$ ,  $NO_x$ , dan  $SO_x$  yang dapat menimbulkan kerusakan lingkungan seperti pemanasan global, efek rumah kaca, hujan asam dan lain-lain<sup>2</sup>. Oleh karena itu, bermacam usaha dalam mencari energi terbarukan yang ramah lingkungan diusahakan semaksimal mungkin seperti tenaga air, energi biomassa, energi matahari, energi panas bumi, energi angin dan generator termoelektrik (*Thermoelectric Generators/TEG*)<sup>3</sup>.

Diantara sumber energi terbarukan tersebut, maka generator termoelektrik merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar. Hal ini dikarenakan generator termoelektrik dapat mengubah energi panas, terutama panas buangan menjadi listrik secara langsung<sup>4</sup>. Penggunaan generator termoelektrik berpotensi meningkatkan efisiensi konversi energi dan mengurangi penggunaan bahan bakar fosil. Umumnya, generator termoelektrik digunakan pada kendaraan bermotor, aplikasi pemulihan panas otomotif, aplikasi daya jarak jauh, pembangkit listrik domestik, dan pemulihan panas limbah industri<sup>5</sup>. Kelebihan lain dari generator termoelektrik adalah dari segi keamanan, biaya perawatan yang rendah dan emisi nol<sup>6</sup>. Selain itu generator termoelektrik biaya perawatannya rendah, ketahanan lentur baik dan daya tahan yang kuat<sup>7</sup>. Oleh karena itu generator termoelektrik sangat menjanjikan sebagai energi alternatif dimasa depan.

Pada saat ini, penggunaan generator termoelektrik secara komersial masih terbatas karena efisiensi konversi energi yang masih rendah dan biaya operasional yang tinggi<sup>8</sup>. Rendahnya efisiensi konversi energi dapat diatasi dengan optimalisasi bahan termoelektrik sementara biaya operasional yang tinggi bisa diatasi dengan optimalisasi geometri generator termoelektrik<sup>9</sup>. Kemampuan material termoelektrik

dalam mengubah panas menjadi energi listrik dievaluasi dengan nilai *Figure of Merit*,  $ZT = S^2\sigma T/k$ , dimana  $S$ ,  $\sigma$  dan  $k$  adalah koefisien Seebeck ( $\mu\text{V/m}$ ), hantaran listrik ( $\text{S/cm}$ ) dan hantaran panas ( $\text{W/m}^2\text{K}$ ). Bahan termoelektrik dengan nilai  $ZT$  yang tinggi memiliki konduktivitas listrik dan koefisien Seebeck yang tinggi sementara konduktivitas termal rendah. Oleh karena itu, maka dilakukan suatu usaha untuk meningkatkan nilai  $ZT$  dengan meningkatkan hantaran listrik dan nilai koefisien Seebeck serta menurunkan hantaran panas. Nilai  $ZT$  yang tinggi akan sebanding dengan nilai efisiensi konversi energi<sup>10</sup>.

Material termoelektrik memiliki peranan yang sangat penting untuk meningkatkan nilai efisiensi perubahan energi ( $\eta$ ). Beberapa material termoelektrik yang terkenal memiliki  $ZT$  yang tinggi ( $ZT > 1$ ) yaitu  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  dan  $\text{PbTe}$ <sup>11</sup> memiliki nilai konversi efisiensi energi sebesar  $\sim 15\%$ . Namun material ini sulit untuk diteliti dan dikembangkan karena memiliki angka toksisitas yang tinggi. Material termoelektrik lain yang mendapatkan perhatian peneliti adalah senyawa *superlattice*  $\text{Sr}_2\text{TiO}_4/\text{SrO}$  ( $\text{SrTiO}_3$ ) fasa Ruddlesden-Popper (RP).  $\text{Sr}_2\text{TiO}_4$  memiliki tingkat laminasi (lapisan) struktur tertinggi di antara semua seri fasa Ruddlesden-Popper (RP)  $\text{Sr}_{n+1}\text{Ti}_n\text{O}_{3n+1}$  ( $1 \leq n \leq \infty$ ) dan memiliki sifat transportasi muatan 2 dimensi (2D) yang spesifik<sup>12</sup>. Senyawa ini memiliki keunggulan dibandingkan oksida lainnya dikarenakan tidak beracun, ketersediaan yang melimpah serta ketahanannya terhadap suhu tinggi. Selain itu, kisi dalam material tersusun secara rapi dan teratur melalui pengulangan lapisan SrO dan lapisan  $\text{SrTiO}_3$  membentuk *superlattice*, sehingga sangat efektif dalam menurunkan hantaran panas melalui mekanisme hamburan (*scattering*) baik oleh elektron maupun oleh vibrasi kisi kristal (fonon). Akan tetapi, nilai  $ZT$  senyawa ini tergolong kecil dikarenakan hantaran listriknya yang rendah. Oleh karena itu, salah satu cara untuk meningkatkan hantaran listriknya adalah melalui pendopongan dengan ion bervalensi tinggi. Pendopongan akan menyebabkan penambahan jumlah elektron pembawa pada senyawa sehingga nilai hantaran listrik menjadi lebih tinggi<sup>13</sup>.

Pendopongan dengan salah satu atom sudah banyak dilakukan pada fasa Ruddlesden-Popper (RP). Beberapa doping seperti, Mg, Al, Ca, Ba, Pb yang dilakukan oleh D.V. Ivanov<sup>14</sup>, Eu dan Ho yang dilakukan oleh Zhongfei MU<sup>15</sup>, doping Ta dan Sm yang dilakukan oleh Y.E.Putri et.al<sup>10</sup> dilaporkan telah mampu meningkatkan hantaran listrik senyawa ini namun peningkatan elektron pembawa belum signifikan. Oleh karena itu diperlukan suatu upaya baru yaitu dengan melakukan substitusi dengan dua jenis doping bervalensi tinggi atau yang disebut

juga dengan *codoped*. Penelitian sebelumnya melaporkan bahwa pendopingan senyawa *superlattice*  $\text{Sr}_2\text{TiO}_4$  fasa Ruddlesden-Popper (RP) pada sisi stronsium ( $\text{Sr}^{2+}$ ) dengan Lanthanum ( $\text{La}^{3+}$ ) dan samarium ( $\text{Sm}^{3+}$ ) dan titanium ( $\text{Ti}^{4+}$ ) dengan niobium ( $\text{Nb}^{5+}$ ) dan tantalum ( $\text{Ta}^{5+}$ ) menghasilkan senyawa dengan kemurnian yang masih rendah dikarenakan ditemukan pengotor didalamnya<sup>10</sup>. Hal ini dikarenakan waktu yang terbatas sehingga reaksi belum berlangsung sempurna<sup>10</sup>. Ion samarium ( $\text{Sm}^{3+}$ ) dipilih sebagai pendoping pada sisi stronsium ( $\text{Sr}^{2+}$ ) dikarenakan pada penelitian sebelumnya nilai hantaran listrik dengan pendopingan samarium ( $\text{Sm}^{3+}$ ) lebih tinggi jika dibandingkan dengan lantanum ( $\text{La}^{3+}$ ), sementara pendopingan dengan niobium ( $\text{Nb}^{5+}$ ) pada sisi titanium ( $\text{Ti}^{4+}$ ) berpotensi menghasilkan hantaran listrik yang lebih tinggi lagi. Oleh karena itu, pendopingan ganda pada dua sisi yang berbeda membentuk  $\text{Sr}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Ti}_{1-y}\text{Nb}_y\text{O}_4$  perlu diteliti lebih lanjut untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kemurnian dan sifat hantaran listriknya.

Senyawa termoelektrik  $\text{Sr}_2\text{TiO}_4$  fasa Ruddlesden-Popper (RP) umumnya disintesis dengan metode reaksi padatan (*solid state reaction*), akan tetapi metode ini membutuhkan panas yang sangat tinggi ( $800^\circ\text{C}$ - $1500^\circ\text{C}$ ) dan waktu *sintering* yang cukup lama (90 jam). Oleh karena itu pada penelitian ini sintesis dilakukan dengan metode lelehan garam karena hanya memerlukan suhu yang lebih rendah dan waktu *sintering* yang juga lebih singkat (10-15 jam) sehingga lebih efisien dibandingkan metode *solid state reaction*. Pada metode lelehan garam ini digunakan campuran garam  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dan  $\text{K}_2\text{SO}_4$ . Kemudian untuk meningkatkan sifat termoelektriknya maka material ini didoping dengan atom bervalensi tinggi yang bertujuan untuk meningkatkan jumlah elektron sebagai pembawa (*carrier*) dalam menghantarkan listrik sehingga hantaran listriknya dapat ditingkatkan<sup>16</sup>.

## 1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimakah pengaruh variasi mol Sr dan Ti dalam material awal terhadap kemurnian produk  $\text{Sr}_2\text{TiO}_4$  fasa Ruddlesden-Popper (RP) yang dihasilkan?
2. Bagaimanakah pengaruh variasi mol doping ganda terhadap kemurnian sampel dan pengaruhnya terhadap hantaran listrik  $\text{Sr}_2\text{TiO}_4$  fasa Ruddlesden-Popper (RP) yang dihasilkan?

## 1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pengaruh perbandingan mol Sr dan Ti dalam material awal terhadap kemurnian produk  $\text{Sr}_2\text{TiO}_4$  fasa Ruddlesden-Popper (RP) yang dihasilkan.

2. Mengetahui pengaruh variasi mol doping ganda terhadap kemurnian sampel dan pengaruhnya terhadap hantaran listrik  $\text{Sr}_2\text{TiO}_4$  fasa Ruddlesden-Popper (RP) yang dihasilkan.

#### 1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai parameter sintesis dalam pembentukan senyawa yang  $\text{Sr}_2\text{TiO}_4$  murni, sehingga bisa meningkatkan nilai hantaran listriknya. Secara umum informasi dalam penelitian ini bermanfaat dalam pengembangan pembangkit termoelektrik di masa datang.

