

Fabrikasi dan Simulasi Termoelektrik *Cooler* Menggunakan Material Semikonduktor *Bismuth Telluride* (Bi_2Te_3) dan *Software* ANSYS

Nilna Fauzia, Melania Suweni Muntini, Diky Anggoro, dan Bachtera Indarto

Departemen Fisika-FIA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Kampus ITS, Sukolilo, Surabaya, 61111
e-mail : nilna.putrifauzia@gmail.com, melania@physics.its.ac.id, dan anggorodiky@gmail.com

Abstrak—Penelitian ini bertujuan untuk melakukan fabrikasi dan simulasi modul termoelektrik *cooler* dengan material semikonduktor *Bismuth Telluride* (Bi_2Te_3). Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah semakin tinggi nilai arus yang diberikan, maka perbedaan temperatur yang dihasilkan oleh modul akan semakin tinggi dan penyusunan semikonduktor secara seri mampu menghasilkan perbedaan temperatur tertinggi. Koefisien performansi (COP) modul termoelektrik *cooler* dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain, arus yang diberikan, resistansi listrik, koefisien *seebeck*, dan konduktansi termal modul. Nilai temperatur terendah berturut-turut dihasilkan oleh modul tiga pada arus lima Ampere, modul dua pada arus 4,5 Ampere, dan modul satu pada arus empat Ampere. Nilai koefisien performansi modul satu pada arus empat Ampere adalah $0,12881 \pm 0,000005$; pada modul dua saat dialiri arus 4,5 ampere adalah $0,63361 \pm 0,000005$; dan pada modul tiga saat dialiri arus lima ampere adalah $0,92906 \pm 0,000005$. Nilai error hasil pengukuran dan simulasi berturut-turut pada modul satu, modul dua, dan modul tiga adalah 7,041%; 5,577%; dan 10,387%.

Keyword—cooler, thermoelectric, COP, resistansi.

I. PENDAHULUAN

TEMPERATUR rata-rata permukaan bumi meningkat setiap tahun sebesar 1,1 derajat *celcius* [1]. Temperatur permukaan bumi yang meningkat menyebabkan kebutuhan terhadap alat pendingin ruangan bertambah. Pada umumnya, peralatan pendingin memerlukan cairan pendingin (*refrigerant*) untuk beroperasi dan yang kerap digunakan adalah *freon*. Penggunaan *freon* memiliki dampak negatif karena dapat merusak ozon atau disebut sebagai *Ozon Depleting Substance*(ODS). Jenis pendingin lain adalah hidrokarbon yang bersifat mudah terbakar.

Melihat permasalahan di atas, untuk menghasilkan temperatur dingin perlu adanya jenis pendingin lain yang dapat menggantikan *refrigerant* salah satunya adalah termoelektrik. Termoelektrik akan menghasilkan perbedaan temperatur ketika dialiri arus listrik atau sebaliknya [2]. Untuk menghasilkan temperatur dingin, termoelektrik tidak mengeluarkan zat sisa yang mencemari lingkungan [3]. Dengan kemampuan tersebut, termoelektrik berpotensi untuk dikembangkan sebagai teknologi pendingin.

Modul termoelektrik dibagi menjadi dua jenis berdasarkan prinsip kerjanya. Termoelektrik *generator* bekerja ketika kedua sisi modul terjadi perbedaan temperatur maka akan menghasilkan tegangan listrik diantara ujung-ujungnya. Besarnya energi listrik yang dihasilkan dipengaruhi salah satunya oleh perbedaan temperatur yang terjadi pada sisi panas dan sisi dingin. Termoelektrik *cooler* bekerja ketika

modul termoelektrik dialiri arus listrik pada ujung-ujung semikonduktor, maka akan terjadi perbedaan temperatur pada kedua sisi modul. Energi panas yang dihasilkan dan diserap dipengaruhi oleh input daya listrik pada termoelektrik. Termoelektrik *generator* bekerja berdasarkan efek *seebeck* dan termoelektrik *cooler* bekerja berdasarkan efek *peltier*.

Efek *seebeck* merupakan suatu efek adanya perbedaan temperatur pada suatu material, yang menyebabkan pembawa muatan mengalir dari sumber panas menuju sisi dingin seperti ilustrasi pada gambar 1 dan gambar 2. Aliran pembawa muatan ini akan memunculkan beda potensial diantara kedua ujungnya yang sebanding dengan perbedaan temperatur yang diberikan. Perbandingan antara perbedaan temperatur dengan beda potensial merupakan sifat intrinsik material yang disebut dengan koefisien *seebeck* atau *thermopower* [4][5]

$$\alpha = -\frac{\Delta V}{\Delta T} = \frac{V_{\text{hot}} - V_{\text{cold}}}{T_{\text{hot}} - T_{\text{cold}}} \quad (1)$$

Kualitas dari suatu modul termoelektrik *cooler* dilihat dari nilai koefisien performansinya. Koefisien performansi (COP) merupakan perbandingan dari kalor yang diserap oleh sisi dingin tiap detik dan selisih kalor yang dikeluarkan sisi panas dan diserap sisi dingin tiap detik. Koefisien performansi suatu termoelektrik *cooler* dapat ditentukan berdasarkan persamaan berikut.

$$\text{COP} = \frac{\dot{Q}_c}{\dot{Q}_h - \dot{Q}_c} \quad (2)$$

Dimana \dot{Q}_h merupakan kalor yang dikeluarkan pada sisi panas per satuan waktu dan \dot{Q}_c merupakan kalor yang diserap oleh sisi dingin per satuan waktu. Nilai kalor yang dibuang pada sisi panas dan diserap oleh dingin dapat dihitung berdasarkan persamaan di bawah ini.

$$\dot{Q}_h = \alpha I T_h - K(T_h - T_c) + \frac{1}{2} R I^2 \quad (3)$$

$$\dot{Q}_c = \alpha I T_c - K(T_h - T_c) - \frac{1}{2} R I^2 \quad (4)$$

Suku pertama persamaan diatas merupakan efek *peltier* dan merupakan proses reveribel. Semakin besar efek *peltier*nya semakin besar pendinginannya. Bentuk kedua merupakan konduktansi termal dan termasuk proses irreversible. Bentuk ketiga adalah pemanasan Joule dan termasuk proses irreversible. α_p adalah koefisien *seebeck* tipe-p dan α_n koefisien *seebeck* tipe-n. L merupakan panjang

kaki material semikonduktor serta N adalah jumlah pasangan material semikonduktor pada modul [6]–[8].

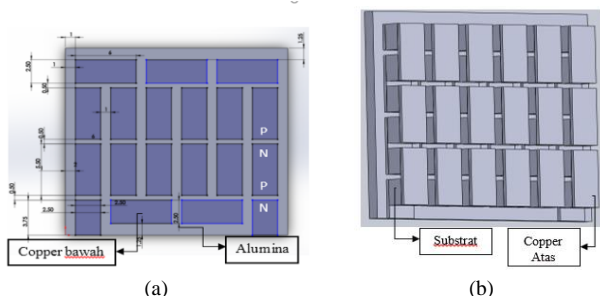
Material-material semikonduktor sebagai bahan penyusun modul termoelektrik memiliki berbagai sifat fisis dan dimensi yang berbeda-beda. Nilai koefisien performansi sebuah modul ditentukan oleh sifat fisis material antara lain resistansi listrik, konduktansi termal, dan koefisien *seebeck* modul. Selain itu, dimensi material dan konfigurasi penyusunan modul juga berpengaruh terhadap koefisien performansi modul [8]. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan fabrikasi modul termoelektrik dengan konfigurasi susunan padatan semikonduktor tipe-p dan tipe-n yang berbeda-beda. Setelah dilakukan fabrikasi, dilakukan pengukuran terhadap masing-masing modul untuk mengetahui temperatur panas dan dingin yang dapat dihasilkan oleh modul. Selanjutnya, dilakukan perhitungan untuk mengetahui koefisien performansi dari masing-masing modul. Dilakukan simulasi dengan *software* ANSYS 12 untuk mengetahui perbedaan temperatur yang dihasilkan dalam simulasi, sehingga *output* hasil simulasi dapat dibandingkan dengan hasil pengukuran.

II. METODOLOGI

A. Fabrikasi Modul Termoelektrik Cooler

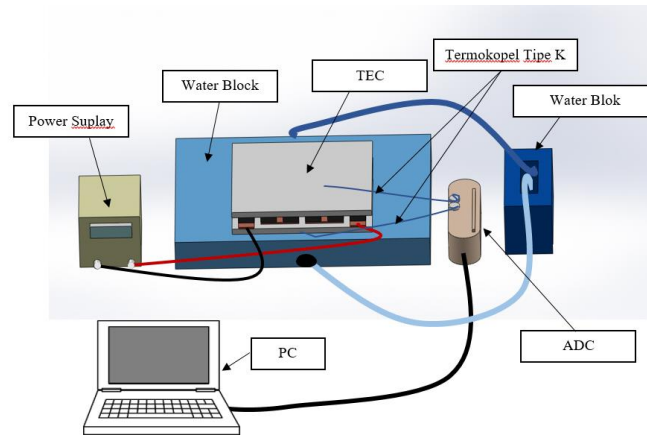
Sebelum dimulai fabrikasi, desain modul TEC disketsa terlebih dahulu dengan *Software* SolidWorks dalam bentuk 3 dimensi. Desain modul di sketsa sesuai dengan ukuran real yang akan digunakan dalam proses fabrikasi.

Desain termoelektrik yang digunakan dalam penelitian ini merupakan model termoelektrik Bulk 1 stage dengan 3 konfigurasi susunan Bi₂Te₃ tipe p dan tipe n sebagai berikut.



Gambar 1. Struktur modul TEC (a) Bagian bawah (b) Bagian atas

Setelah sketsa selesai dilakukan, tahapan selanjutnya yaitu fabrikasi modul dengan metode soldering. Dimensi alumina yang digunakan fabrikasi yaitu 22x20x1 mm. Tembaga yang digunakan adalah 6x2,5x0,3 mm. Sedangkan elemen semikonduktor berukuran 2,5x2,5x1,5 mm. Fabrikasi dilakukan dengan mensketsa alumina dengan pensil. Kemudian tembaga yang telah dipotong ditempel di atas alumina dengan lem. Selanjutnya material tipe-p dan tipe-n diletakkan di atas tembaga sesuai dengan desain menggunakan solder. Dipastikan sambungan antar material-copper sesuai desain. Lalu, di atas material diletakkan tembaga, dan di atas tembaga diletakkan alumina pada sisi atas. Pada tiap-tiap ujung modul di sambungkan dengan kabel. Lalu diukur resistansi modul, jika resistansi nya dalam satuan Ohm, sambungan antar komponen di dalam modul sesuai. Gambar 2 adalah proses fabrikasi modul



Gambar 2. Pengukuran Modul Termoelektrik Cooler

Sebelum dilakukan pengukuran modul, pertama-tama modul dialiri arus listrik untuk mengetahui *coldside* dan *hotside* pada modul. Setelah diketahui sisi dingin dan panasnya, kemudian peralatan dirangkai seperti Gambar 2. Modul TEC dihubungkan dengan *power supply*. Pada sisi panas modul ditempel *water block* sebagai *cooler* untuk membuang panas yang dihasilkan oleh modul. Lalu pada kedua sisi modul ditempel termokopel tipe-k untuk merekam temperatur secara simultan. Kemudian ujung termokopel tipe-k yang lain dihubungkan dengan ADC Converter untuk mengubah sinyal analog menuju digital. ADC converter dihubungkan dengan *personal computer*, data hasil rekaman temperatur oleh termokopel tipe-k ditampilkan di *personal computer* sehingga dapat diketahui perbedaan temperatur antara dua sisi.

Proses perekaman temperatur dimulai dari pemberian arus 0,5 Ampere selama 400 detik. Perekaman temperatur dilakukan dalam jangka waktu tersebut untuk memperoleh temperatur stabil setelah terjadi kenaikan temperatur akibat penambahan arus. Setelah dilakukan perekaman temperatur dalam jangka waktu tertentu, kemudian file di simpan dalam excel. Kemudian arus dinaikkan hingga satu Ampere dan dilakukan perekaman temperatur selama 500 detik. Dilakukan cara yang sama untuk temperatur 1,5 Ampere hingga lima Ampere pada modul satu, modul dua, dan modul tiga.

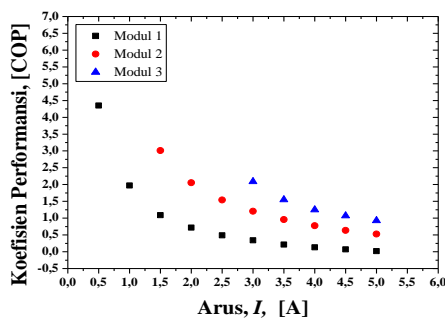
B. Simulasi Modul Termoelektrik Cooler

Simulasi dilakukan dengan *software* ANSYS 12 untuk mengetahui perbedaan temperature diantara 2 sisi modul. Dalam mensimulasikan modul thermoelectric cooler, diperlukan datasheet sifat-sifat material yang digunakan yaitu konduktivitas termal, resistivitas listrik, dan koefisien *seebeck*. Pada proses fabrikasi digunakan timah untuk merekatkan tembaga dengan material semikonduktor. Maka dalam proses simulasi dimasukkan timah dengan ketebalan 0,5mm. Dalam simulasi dimasukkan parameter input Heatflow sesuai dengan nilai Qc hasil perhitungan dengan arah dari atas. Simulasi dilakukan pada modul 1, 2, dan 3 dengan arus masukan pada semikonduktor tipe-n sebesar 0,5 A hingga 5 A dengan kelipatan 0,5. Tegangan pada material tipe p di setting 0 V. Temperatur panas di setting pada bagian bawah sehingga diperoleh nilai temperature dingin pada sisi atas.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Termoelektrik *cooler* bekerja berdasarkan prinsip efek *peltier*. Efek *peltier* merupakan sebuah efek yang terjadi ketika dua bahan semikonduktor berbeda disambungkan dan dialiri arus listrik maka akan terjadi perbedaan temperatur diantara kedua ujungnya. Modul termoelektrik *cooler* terdiri dari beberapa pasangan semikonduktor. Perbedaan temperatur diantara dua sisi dapat terjadi karena arus listrik masuk ke dalam bahan semikonduktor tipe-n, yang mana mayoritas pembawa muatannya adalah elektron. Ketika dialiri arus, elektron pada semikonduktor tipe-p mengalir menuju semikonduktor tipe-p. Karena tipe-p memiliki energi kurang dari tipe-n, maka elektron menyerap kalor dari lingkungan agar memperoleh cukup energi untuk mengalir. Oleh karena itu, sisi tempat elektron menyerap kalor terjadi temperatur dingin. Setelah elektron tiba pada tipe-n, energi kalor dialirkan menuju sisi yang lainnya. Lalu elektron mengalir dari semikonduktor tipe-n ke semikonduktor tipe-p. Karena mengalir dari tingkat energi yang lebih tinggi ke tingkat energi yang lebih rendah, maka elektron melepas energi kalor ke lingkungan. Oleh karena itu pada sisi elektron melepas kalor terjadi temperatur panas.

Selanjutnya hasil perhitungan tersebut digunakan untuk menghitung koefisien performansi modul. Koefisien performansi suatu modul merupakan ukuran perbandingan antara kalor yang diserap oleh sisi dingin dengan daya yang masuk pada modul. Daya yang masuk pada modul merupakan selisih antara kalor yang dibuang pada sisi panas tiap detiknya (\dot{Q}_h) dengan kalor yang diserap sisi dingin tiap detiknya (\dot{Q}_c). Untuk menghitung koefisien performansi modul, digunakan persamaan (2), (3), dan (4). Gambar 4, adalah grafik koefisien performansi modul dari ketiga modul pada setiap arus yang mengalir.



Gambar 4. Koefisien Performansi Modul Termoelektrik Cooler

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa nilai temperatur terendah berturut-turut dihasilkan oleh modul tiga, modul dua, dan modul satu. Adapun nilai temperatur terendah yang dihasilkan modul tiga adalah $15,99234^{\circ}\text{C} \pm 0,000005^{\circ}\text{C}$ pada aliran arus lima Ampere, pada modul dua adalah $21,99714^{\circ}\text{C} \pm 0,000005^{\circ}\text{C}$ pada aliran arus 4,5 Ampere dan pada modul satu adalah $22,50381^{\circ}\text{C} \pm 0,000005^{\circ}\text{C}$ pada aliran arus empat Ampere. Nilai koefisien performansi modul satu pada arus empat Ampere adalah $0,12881 \pm 0,000005$; pada modul dua saat dialiri arus 4,5 ampere adalah $0,63361 \pm 0,000005$; dan pada modul tiga saat dialiri arus lima ampere adalah $0,92906 \pm 0,000005$. Nilai error perbandingan beda

temperatur antara hasil simulasi dan pengukuran untuk modul satu, modul dua, dan modul tiga berturut-turut adalah 7,04%; 5,58%; dan 10,39%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Febrianti, "Hubungan Pemanasan Global dengan Temperatur Udara dan Curah Hujan di Indoensia," Bandung.
- [2] A. Gokhale, P., Loganathan, B., Crowe, J., Date, Ashwin, Date, "Development of Flexible Thermoelectric Cells and Performance Investigation of Thermoelectric Materials for Power Generation," *Energy Procedia*, 2017.
- [3] Y. Cai, D. Liu, F.-Y. Zhao, and J.-F. Tang, "Performance analysis and assessment of thermoelectric micro cooler for electronic devices," *Energy Convers. Manag.*, vol. 124, pp. 203–211, Sep. 2016.
- [4] J. W. Fergus, "Oxide materials for high temperature thermoelectric energy conversion," *J. Eur. Ceram. Soc.*, vol. 32, pp. 525–540, 2012.
- [5] S. C. Puspita, "Generator Termoelektrik untuk Pengisian Aki," ITS Surabaya, 2017.
- [6] B. J. Huang, C. J. Chin, and C. L. Duang, "A design method of thermoelectric cooler."
- [7] M. Ma and J. Yu, "An analysis on a two-stage cascade thermoelectric cooler for electronics cooling applications," *Int. J. Refrig.*, vol. 38, pp. 352–357, Feb. 2014.
- [8] D. Mitrani, J. Salazar, A. Turó, M. J. García, and J. A. Chávez, "One-dimensional modeling of TE devices considering temperature-dependent parameters using SPICE," *Microelectronics J.*, vol. 40, no. 9, pp. 1398–1405, Sep. 2009.