

## RANCANG BANGUN DAN IMPLEMENTASI SISTEM PEMANAS AIR TERKONTROL BERBASIS TERMOELEKTRIK

### *DESIGN AND IMPLEMENTATION CONTROLLED WATER HEATER SYSTEM BASED THERMOELECTRIC*

Dian Suryani Wulandari<sup>1</sup>, M. Ramdhan Kirom<sup>2</sup>, Tri Ayodha Ajiwiguna<sup>3</sup>  
1,2,3Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

wulandarisdian@students.telkomuniversity.ac.id<sup>1</sup> mramdlankirom@telkomuniversity.ac.id<sup>2</sup>  
tri.ayodha@telkomuniversity.ac.id<sup>3</sup>

#### Abstrak

Termoelektrik pada umumnya digunakan sebagai perangkat pendingin karena sisi panas modul termoelektrik memiliki keterbatasan temperatur tinggi. Ketika panas yang dihasilkan termoelektrik melebihi batas yang disarankan, hal tersebut dapat memicu kerusakan perangkat itu sendiri. Nyatanya, *Joule heating* yang terjadi ketika arus mengalir pada termoelektrik akan mengurangi kapasitas pendinginan pada sisi dingin dan sebagian *Joule heating* lainnya akan menambah kapasitas panas pada sisi panas. Dengan demikian, termoelektrik akan lebih efisien jika digunakan sebagai perangkat pemanas dibandingkan dengan digunakan sebagai perangkat pendingin. Pada penelitian kali ini, termoelektrik akan digunakan sebagai sumber pemanas air bervolume kecil dengan temperatur air keluaran dapat mencapai 60°C. Penggunaan termoelektrik diharapkan mampu meningkatkan efisiensi energi dibandingkan dengan penggunaan pemanas air konvensional (pemanas air resistansi). Selain itu, sistem kontrol *on-off* ditambahkan untuk menghindari pemakaian energi berlebih.

**Kata Kunci:** Termoelektrik, Pemanas air otomatis.

#### Abstract

*Thermoelectric is commonly used as a cooler device since the hot side temperature of thermoelectric had a limit. In several conditions, high temperature which is resulted by thermoelectric can be damaged the device itself. In fact, the half of Joule heating will counteract a fraction of cooling capacity while the other half will add to the heating capacity. Therefore thermoelectric should be more efficient while being utilized as a heater than as a cooler. In this study, thermoelectric will be utilized as a heater for small volume of water ( under 200mL) with the output temperature of water up to 60°C. Enhancement of energy efficiency can be expected with the replacement of resistance heater by thermoelectric. Furthermore, on-off control system is added to increase the efficiency.*

**Key Words:** Thermoelectric, Automatic water heater.

#### 1. Pendahuluan

Konsumsi energi listrik yang relatif besar tersebut karena pemanas air listrik konvensional (resistance water heater) memanfaatkan daya terdisipasi yang sebanding dengan hambatan elemen pada pemanas tersebut, sehingga tidak semua daya masukan berubah menjadi energi panas. Untuk mengatasi hal tersebut, maka diperlukan suatu perangkat elemen pemanas yang dapat mengkonversi energi lebih efisien. Salah satu perangkat tersebut adalah modul termoelektrik. Termoelektrik merupakan perangkat yang memiliki sisi panas dan sisi dingin dalam satu modul. Pada saat termoelektrik digunakan sebagai pemanas, sisi dingin modul akan bekerja sebagai penyerap kalor yang kemudian kalor tersebut akan dilepaskan pada sisi panas dengan bantuan energi listrik, sehingga daya yang diemisikan merupakan penjumlahan daya listrik masukan dan daya dari kalor masukan. Hal lain yang dapat memicu

pemborosan energi dalam penggunaan pemanas air adalah sistem yang manual. Pemanas air manual dapat memungkinkan sistem bekerja menghasilkan temperatur lebih dari yang diinginkan dan menggunakan daya yang tidak diperlukan.

Keterbatasan pemanas air yang telah diuraikan di atas mendasari penelitian tugas akhir ini yang akan memanfaatkan termoelektrik sebagai pemanas air. Saat digunakan sebagai pemanas, termoelektrik memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan pemanas air listrik konvensional. Bahkan penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa heating coefficient termoelektrik dapat mencapai 5,5 [2] atau dengan kata lain, heating coefficient termoelektrik 5,5 kali lebih besar dibandingkan dengan pemanas resistansi. Selain itu, teknologi termoelektrik tidak memerlukan bahan refrigerant yang berbahaya, tidak menimbulkan kebisingan pada saat pengoperasiannya dan ketahanan yang baik sehingga mempermudah perawatan [3]. Pemanas air termoelektrik ini juga dikendalikan oleh sistem kontrol temperatur yang dapat secara otomatis menghasilkan air dengan temperatur keluaran sesuai keinginan pengguna. Dengan penggunaan perangkat yang memiliki efisiensi konversi energi yang tinggi dan kontrol temperatur yang otomatis diharapkan pemanas air berbasis termoelektrik ini mengonsumsi energi lebih sedikit dibandingkan dengan pemanas air listrik konvensional.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Pompa Kalor Termoelektrik

Penemuan termoelektrik diawali dengan penemuan-penemuan dari ilmuwan yang berbeda sebelumnya. Pada tahun 1821, Thomas Johan Seebeck melakukan sebuah eksperimen yang menunjukkan bahwa gaya gerak listrik dapat dihasilkan dari pemanasan yang dilakukan pada ujung-ujung dua buah konduktor yang berbeda dan pada ujung lainnya konduktor-konduktor tersebut disambungkan [4]. Rasio antara besar tegangan yang muncul terhadap perbedaan temperatur kedua ujung dinyatakan sebagai koefisien Seebeck, seperti persamaan berikut.

$$\alpha_{AB} = \frac{V}{\Delta T} \quad (2.1)$$

dengan  $\alpha_{AB}$  merupakan koefisien Seebeck dari konduktor A dan B (Volt/ Kelvin),  $V$  menunjukkan nilai tegangan yang muncul ( Volt) dan  $\Delta T$  adalah perbedaan temperatur antara ujung-ujung sambungan konduktor ( Kelvin).

Tigabelas tahun setelah penemuan efek Seebeck, tepatnya pada tahun 1834, J. Peltier menemukan kebalikan dari efek Seebeck. Dua buah logam berbeda jenis yang disambungkan ketika dialirkan arus listrik akan menghasilkan efek pendinginan atau efek pemanasan yang relatif kecil bergantung pada arah alirannya, fenomena ini kemudian disebut dengan efek Peltier [4]. Dengan penjelasan efek Seebeck, kita akan mengetahui bahwa gaya gerak listrik akan timbul diantara  $x$  dan  $y$  pada gambar 2.2. Sedangkan koefisien Peltier didefinisikan sebagai rasio laju pemanasan atau pendinginan masing-masing ujung,  $q$  terhadap arus listrik,  $I$ .

$$\pi_{AB} = \frac{q}{I} \quad (2.2)$$

dengan  $\pi_{AB}$  adalah koefisien Peltier,  $q$  merupakan laju perpindahan kalor, dan  $I$  adalah besarnya arus yang mengalir.

Pada tahun-tahun berikutnya diketahui bahwa efek pendinginan atau efek pemanasan yang sedikit dihasilkan karena penggunaan dua logam sebagai bahan konduktor pada termokopel kurang efisien. Aliran listrik merupakan elektron yang mengalir melalui konduktor yang disebabkan perbedaan energi, perbedaan energi ini dipengaruhi bahan dari material itu sendiri. Permasalahan bahan termokopel ini kemudian dianalisis oleh Altenkirch pada tahun 1911, menurut analisisnya, kinerja sebuah termokopel dapat diperbaiki dengan menggunakan bahan yang memiliki konduktivitas listrik yang tinggi dan konduktivitas termal yang rendah [5]. Sedangkan konduktor pada masa itu tidak memiliki sifat yang dapat memperbaiki kinerja termokopel. Pada konduktor seperti logam, peningkatan konduktivitas listrik akan disertai juga dengan peningkatan konduktivitas termal. Hingga pada akhirnya penggunaan bahan semikonduktor menjadi awal perkembangan teknologi termoelektrik. Semikonduktor memiliki sifat kelistrikan diantara konduktor dan isolator, dengan *dopping* atau penambahan atom tertentu semikonduktor dapat bersifat positif atau negatif tergantung atom *doppingnya*.

Pada pompa kalor termoelektrik, semikonduktor positif atau disebut tipe p dan semikonduktor negatif atau tipe n dikombinasikan dalam satu modul dengan meletakkan secara berpasangan. Pasangan-pasangan semikonduktor p- n dihubungkan satu sama lain dengan menggunakan pelat konduktor berjenis logam. Ketika dialiri arus listrik, konsentrasi muatan pada pelat bawah lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi muatan semikonduktor, sehingga energi yang tidak diperlukan akan dikonversi dalam bentuk panas. Sebaliknya, pada pelat atas, konsentrasi

muatan lebih sedikit dibanding konsentrasi muatan pada semikonduktor, sehingga energi panas dari lingkungan akan dikonversi menjadi energi yang dibutuhkan untuk transfer muatan.

## 2.2 Perhitungan Kalor pada Termoelektrik

Termoelektrik merupakan bahan semikonduktor yang menyerap kalor pada salah satu sisinya dan membuang kalor pada sisi lainnya. Besarnya kalor yang diserap dan dibuang dapat dinyatakan sebagai berikut [5].

$$Q_{abs} = \alpha I T_c - \frac{\Delta T}{\theta} - \frac{I^2 R}{2} \quad (2.3)$$

$$Q_{em} = \alpha I T_h - \frac{\Delta T}{\theta} + \frac{I^2 R}{2} \quad (2.4)$$

dengan  $Q_{abs}$  adalah kalor yang diserap,  $Q_{em}$  adalah kalor yang dibuang,  $\alpha$  adalah koefisien Seebeck dari material (Volt/K),  $R$  merupakan tahanan total (Ohm),  $I$  merupakan arus yang mengalir (Ampere),  $T_h$  dan  $T_c$  masing-masing adalah temperatur pada sisi panas dan temperatur pada sisi dingin dalam Kelvin, dan  $\theta$  merupakan hambatan termal (K/Watt) dapat dinyatakan sebagai berikut [5].

$$\theta = \frac{\Delta T_{maks}}{I_{maks} V_{maks}} \frac{2T_h}{(T_h - \Delta T_{maks})} \quad (2.5)$$

## 2.3 Koefisien Kinerja Pompa Kalor

Parameter kinerja dari sebuah pompa kalor dapat dilihat dari *coefficient of performance* (COP) pompa kalor itu sendiri. COP pompa kalor merupakan rasio antara jumlah kalor yang dilepaskan oleh sistem ( $Q_H$ ) dengan kerja neto ( $W_{siklus}$ ) atau dapat dituliskan sebagai berikut [6].

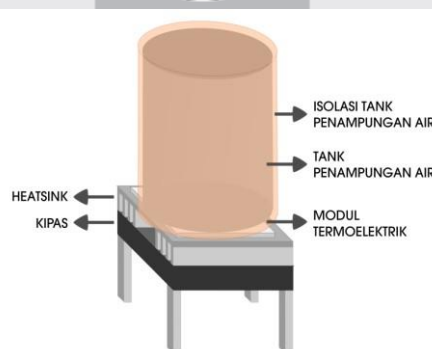
$$\gamma = \frac{Q_H}{W_{siklus}} = \frac{Q_H}{Q_H - Q_C} \quad (2.6)$$

Dimana  $\gamma$  merupakan koefisien kinerja pompa kalor,  $Q_H$  merupakan energi yang dilepaskan, dan  $Q_C$  merupakan energi yang diserap.

## 3. Perancangan Perangkat

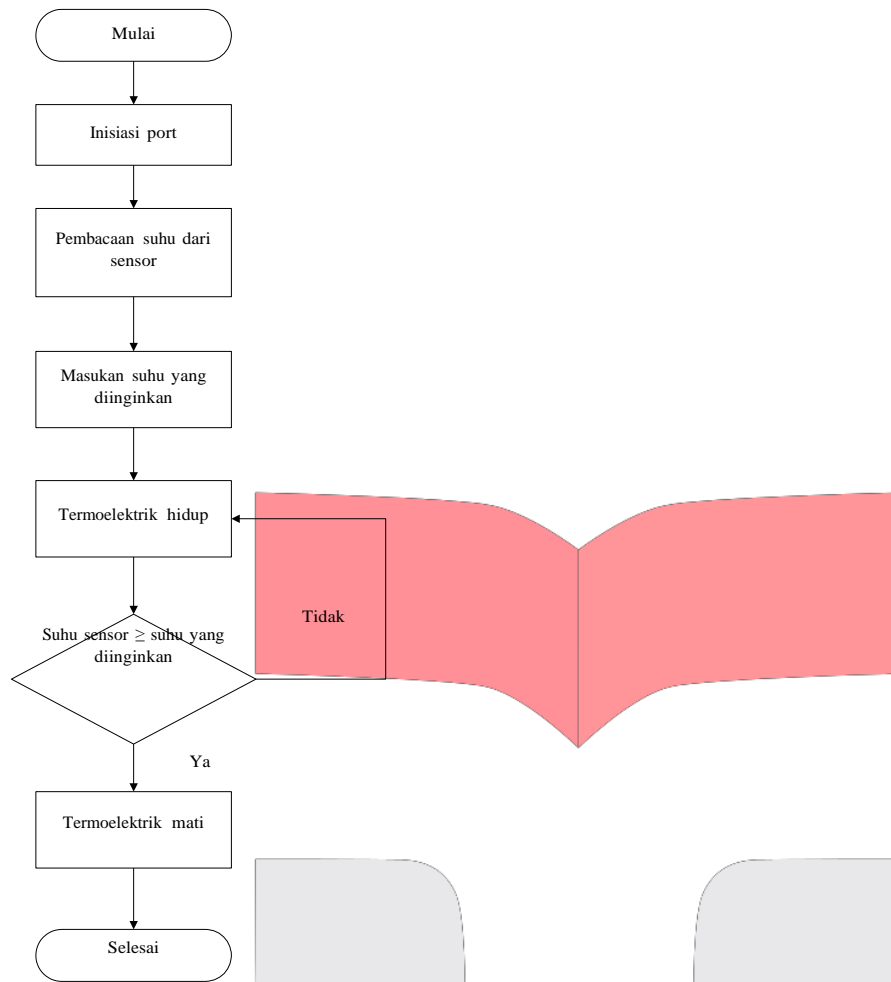
### 3.1 Perancangan Perangkat Keras

Tangki pemanas air merupakan penampungan air yang berfungsi sebagai tempat air dipanaskan hingga temperatur tertentu. Pada tangki pemanas air, ditambahkan komponen *heat sink* dan kipas yang bertujuan untuk memaksimalkan perpindahan kalor. Selain itu tangki bagian luar dilapisi bahan isolator untuk membebaskan pengaruh udara luar. Tangki dirancang memiliki kapasitas penampungan air sebanyak 200mL, memiliki jari-jari alas tabung 5,5 cm dan tinggi 11cm.



Gambar Error! No text of specified style in document..1 Pemanas air berbasis termoelektrik

### 3.2 Perancangan Perangkat Lunak

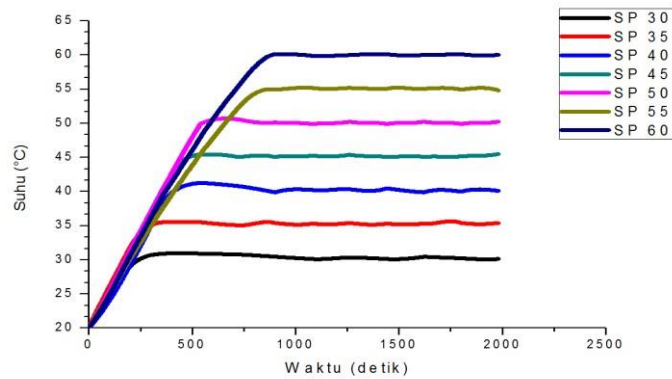


**Gambar Error! No text of specified style in document.-1 Diagram Alir Kendali Pemanas Air**

**4. Hasil Pengujian dan Pembahasan**

**4.1 Hasil Pengujian Sistem Kontrol On- Off**

Pemanas air berbasis termoelektrik ini dirancang dengan sistem otomatis, menggunakan relay untuk kontrol *on- off*, pemanas ini akan menaikkan temperatur dan kemudian mempertahankan temperatur sesuai dengan masukan temperatur yang diinginkan.

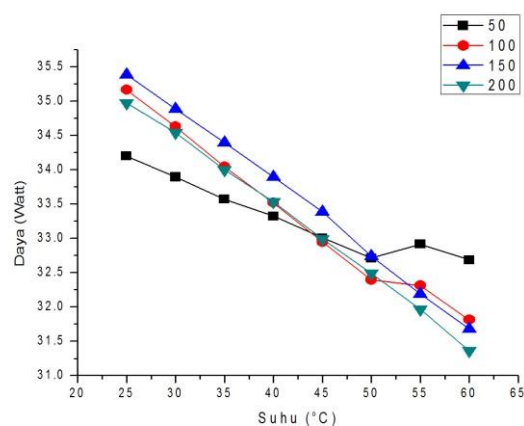


**Gambar 4.1 Grafik temperatur air yang dikondisikan dengan kontrol *on-off*.**

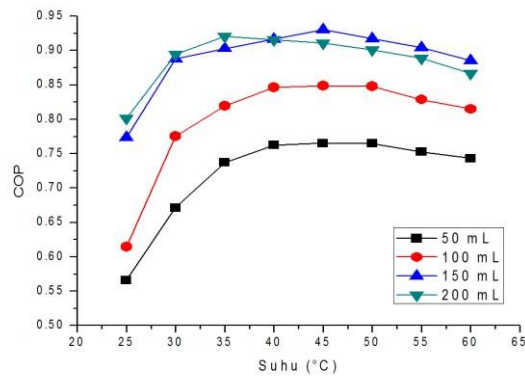
Alat pemanas air berbasis termoelektrik ini dikhususkan untuk memanaskan air dengan temperatur tidak lebih dari 60 °C. Pada grafik diatas, dapat dilihat bahwa waktu minimum yang dibutuhkan untuk mencapai *setpoint* adalah 207 detik pada *setpoint* 30 °C dan waktu maksimum yang dibutuhkan untuk mencapai *setpoint* adalah 849 detik pada *setpoint* 60 °C. Sistem kontrol *on-off* yang digunakan dapat mempertahankan temperatur pada *setpoint* dengan cukup stabil. Kenaikan temperatur maksimum diatas *setpoint* adalah 0,92 °C pada *setpoint* 30 °C dan kenaikan temperatur minimum diatas *setpoint* adalah 0,12 °C pada *setpoint* 60 °C. Ketika proses pemanasan berhenti, keadaan tidak langsung menjadi setimbang, terdapat perbedaan temperatur sehingga masih terjadi perpindahan panas dari temperatur tinggi ( termoelektrik) ke temperatur rendah ( air). Perbedaan temperatur antara termoelektrik dan air akan lebih besar pada *setpoint* 30 °C dibandingkan dengan dengan *setpoint* 60 °C, sehingga pada *setpoint* 30 °C terjadi kenaikan temperatur terbesar diatas *setpoint* dan membutuhkan waktu yang lebih lama untuk mencapai kesetimbangan. Penurunan temperatur berada pada rentang 0,05- 0,11 °C yang merata pada setiap *setpoint*.

#### 4.2 Pengujian Pemanas Air Berbasis Termoelektrik

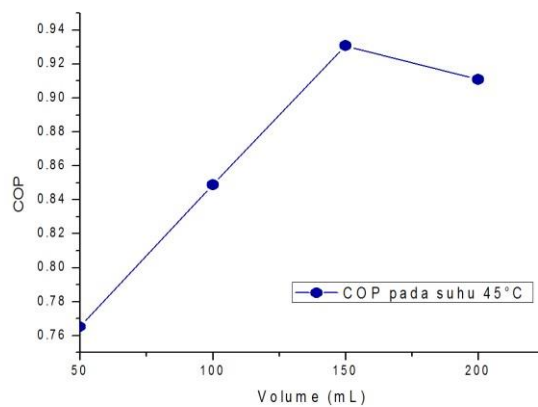
Kinerja pemanas air dapat dilihat dari koefisien kinerja pemanas air tersebut. Koefisien kinerja pemanas air dapat diketahui dengan menghitung perbandingan antara kerja yang dilakukan dengan kalor yang dihasilkan oleh sistem. Pada sistem pemanas air ini kerja yang dilakukan sebanding dengan energi listrik yang dikonsumsi sistem pemanas air. Untuk itu pada pengujian ini, data yang diamati diantaranya daya yang dikonsumsi, waktu yang dibutuhkan menuju *setpoint* dan beban pemanas yang merupakan hasil perkalian dari massa air, kalor jenis air dan selisih temperatur air.



**Gambar 4.2 Grafik konsumsi daya pada setiap *setpoint* temperatur pada berbagai volume**



Gambar 4.3 Grafik koefisien kinerja pada setiap *setpoint* temperatur pada berbagai volum



Gambar 4.4 Grafik COP pada suhu 45°C pada berbagai volume

Pada gambar 4-4 dapat dilihat bahwa seluruh grafik pada berbagai volume memiliki kecenderungan yang sama. Koefisien kinerja atau COP akan naik secara signifikan pada kenaikan temperatur awal yaitu pada rentang temperatur 25°C hingga 30°C, hal ini dapat diakibatkan oleh pemanasan air belum maksimal, sebagian besar kalor diserap oleh tanki. kemudian pada rentang temperatur 40°C hingga 50°C cenderung stabil dan mengalami penurunan bertahap pada rentang temperatur 50°C hingga 60°C. Pada gambar 4-3 dapat diamati bahwa seiring dengan waktu, pada grafik ditunjukkan oleh kenaikan temperatur, kerja yang dilakukan atau daya mengalami penurunan. Penurunan daya ini disebabkan oleh arus yang mengalir pada modul semakin kecil. Kalor yang diemisikan oleh modul termoelektrik dipengaruhi pula oleh *Joule heating*, yang berbanding lurus dengan kuadrat arus. Semakin besar *Joule heating*, maka semakin besar pula emisi kalor. Dengan demikian, penurunan performansi pada 50°C hingga 60°C salah satunya diakibatkan oleh penurunan arus pada modul. Pada gambar 4-5 dapat diamati grafik COP pada suhu 45°C pada volume 50mL, 100mL, 150mL, dan 200mL. Pada rentang volume 50mL- 150mL, terjadi kenaikan COP seiring dengan penambahan volume.

Tabel 4.1 Nilai COP pada beberapa suhu dan beragam volume

Suhu	COP			
	50 mL	100 mL	150 mL	200 mL
25	0.56631	0.61476	0.77387	0.80157
30	0.67163	0.77539	0.88785	0.89442
35	0.73722	0.81935	0.9031	0.92078
40	0.76264	0.84654	0.91653	0.91552

45	0.76519	0.84887	0.93086	0.91094
50	0.76516	0.8481	0.91776	0.90144
55	0.75286	0.82875	0.90449	0.88858
60	0.74322	0.81509	0.88528	0.86655
Rata-rata	0.72053	0.79961	0.88997	0.88747

Koefisien kinerja tertinggi diketahui terjadi ketika temperatur 45°C pada volume 150mL, yaitu 0, 93086. Pada percobaan yang telah dilakukan, diketahui bahwa pemanas air dengan modul tunggal termoelektrik ini akan bekerja paling efektif pada volume 150 mL dan temperatur 45°C.

### V. Kesimpulan

Hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan pada rancang bangun dan implementasi sistem pemanas air berbasis termoelektrik menghasilkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengkondisi temperatur on- off sudah cukup baik digunakan untuk pemanas air berbasis termoelektrik bervolume kecil ( kurang dari 200mL) karena memiliki error terbesar adalah 1, 03°C dan waktu untuk mencapai keadaan tunak relatif cepat.
2. Sistem pemanas air terkontrol berbasis termoelektrik ini akan menghasilkan performasi terbaik ketika digunakan untuk memanaskan air sebanyak 150 mL pada temperatur 45°C.

### Daftar Pustaka

- [1] (2014). Dalam *Statistik PLN 2013* (hal. 43). Jakarta: Sekretariat Perusahaan PT PLN ( Persero).
- [2] Q. Luo, G. T. (2005). *A novel water heater integrating thermoelectric heat pump with separating thermosipon*.
- [3] J. Siviter, A. M. (2014). *Rankie cycle gain using thermoelectric heat pump*.
- [4] Goldsmid, H. J. (2009). *Introduction to Thermoelectricity*. Tasmania: Springer.
- [5] Simon Lineykin & Shmuel Ben-Yaakov. (2007, March/ April). *Modeling and Analysis of Thermoelectric Modules*. IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, VOL. 43, 505.
- [6] Moran, M. J., & Saphiro, H. N. (2004). *Termodinamika Teknik*. Jakarta: Erlangga.
- [7] Holman, J. P. (1994). *Perpindahan Kalor*. Jakarta: Erlangga.
- [8] Streeter, V. L. & Wylie E.B. (1986). *Mekanika Fluida*. Jakarta: Erlangga.
- [9] Inu Hariadi. *Perancangan water dispenser menggunakan sistem termoelektrik dengan memanfaatkan fotovoltaik sebagai sumber energi*.
- [10] DH, S. (2012). *Rancang Bangun Sistem Pengukur Efisiensi Sel Peltier Berbasis Mikrokontroler*, 37.

