

# Efek Peltier Dalam Termoelektrik Sebagai Solusi Alternatif Teknologi Pendingin Berbasis Mikrokontroler ATmega328

*Peltier Effect in Thermoelectricity as an Alternative Cooling Technology Solution Based on ATmega328 Microcontroller*

Muhammad Ikhsan

Ilmu Komputer, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara Medan

E-mail: muhammad.ikhsan@uinsu.ac.id

## Abstrak

Teknologi pendingin konvensional umumnya menggunakan kompresor yang memakan tempat dan kurang fleksibel untuk kebutuhan portabel. Penelitian ini bertujuan merancang lemari pendingin pintar (smart refrigerator) mini yang hemat energi dan ramah lingkungan menggunakan efek Peltier sebagai alternatif pengganti kompresor. Metode yang digunakan adalah eksperimen dengan merancang perangkat keras berbasis mikrokontroler ATmega328 dan menerapkan metode Pulse Width Modulation (PWM) untuk menjaga stabilitas suhu. Sistem dirancang menggunakan sensor suhu, modul termoelektrik (Peltier), dan antarmuka LCD untuk pengaturan set-point suhu secara digital. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat mampu mencapai suhu target 10°C dengan waktu respon rata-rata antara 17 hingga 22 menit dan error steady state sebesar 1%. Pengujian sensor suhu menunjukkan tingkat akurasi tinggi dengan rata-rata penyimpangan hanya 2,29%. Kesimpulannya, penggunaan efek Peltier yang dikendalikan oleh mikrokontroler efektif sebagai solusi pendingin portabel yang stabil dan ramah lingkungan.

**Kata kunci:** Termoelektrik, Efek Peltier, Mikrokontroler ATmega328, PWM, Lemari Pendingin Pintar

## Abstract

Conventional cooling technologies generally utilize compressors, which are bulky and inflexible for portable needs. This study aims to design a smart mini refrigerator that is energy-efficient and eco-friendly using the Peltier effect as an alternative to compressors. The method employed is experimental, involving the design of hardware based on the ATmega328 microcontroller and the application of Pulse Width Modulation (PWM) to maintain temperature stability. The system is designed using temperature sensors, thermoelectric modules (Peltier), and an LCD interface for digital set-point adjustment. Test results indicate that the device is capable of reaching a target temperature of 10°C with an average response time between 17 to 22 minutes and a steady-state error of 1%. Temperature sensor testing showed high accuracy with an average deviation of only 2.29%. In conclusion, the use of the Peltier effect controlled by a microcontroller is effective as a stable and eco-friendly portable cooling solution.

**Keywords:** Thermoelectric, Peltier Effect, ATmega328 Microcontroller, PWM, Smart Refrigerator



## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi perangkat elektronik rumah tangga bertujuan untuk meningkatkan kualitas hidup manusia melalui efisiensi dan otomatisasi. Salah satu perangkat vital adalah lemari pendingin. Namun, lemari pendingin konvensional umumnya memiliki dimensi besar, menggunakan pengaturan suhu analog yang kurang presisi, dan sulit dipindahkan (tidak portabel). Selain itu, teknologi konvensional masih banyak bergantung pada kompresor dan refrigeran kimia yang berisiko bagi lingkungan.

Sebagai solusi alternatif, teknologi termoelektrik berbasis efek Peltier menawarkan metode pendinginan tanpa bagian yang bergerak (*solid state*), bebas freon, dan berukuran ringkas. Efek Peltier terjadi ketika arus listrik dialirkan melalui dua logam berbeda yang direkatkan, menyebabkan penyerapan panas di satu sisi dan pelepasan panas di sisi lain. Bahan semikonduktor seperti *Bismuth Telluride* ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ) umum digunakan untuk memaksimalkan efek ini.

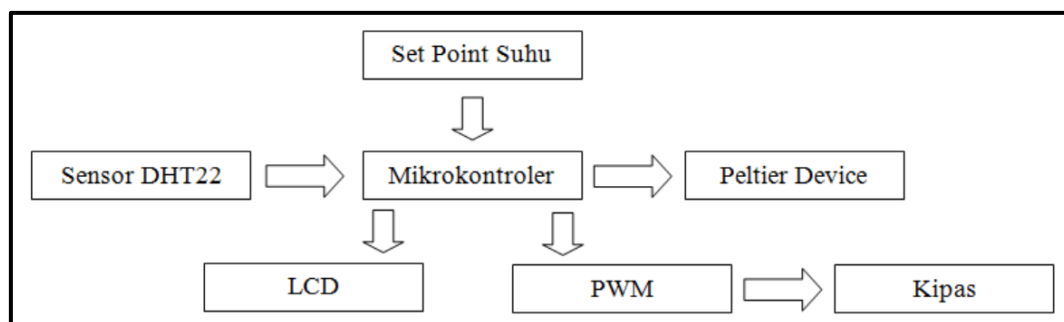
Penelitian ini bertujuan merancang "Lemari Pendingin Pintar" berbasis mikrokontroler ATmega328. Penggunaan mikrokontroler memungkinkan penerapan fitur pengaturan suhu digital dan metode kendali *Pulse Width Modulation* (PWM) untuk menjaga stabilitas suhu ruangan pendingin secara otomatis dan *real-time*. Kontribusi utama penelitian ini adalah implementasi metode PWM pada elemen Peltier untuk menciptakan sistem pendingin portabel yang presisi, hemat energi, dan ramah lingkungan sebagai alternatif teknologi kompresor konvensional.

## 2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen yang meliputi perancangan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*).

### 2.1 Perancangan Perangkat Keras

Sistem dibangun menggunakan mikrokontroler ATmega328 sebagai otak pemrosesan. Diagram blok sistem (Gambar 1) menunjukkan alur kerja dimana sensor suhu (DHT22) dan tombol pengaturan berfungsi sebagai input. Data diproses oleh mikrokontroler untuk mengendalikan driver PWM yang mengatur kecepatan kipas dan aktivasi Peltier Device. Output ditampilkan pada LCD 16x2.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem Pendingin Pintar

Rangkaian catu daya dan sistem minimum didesain menggunakan perangkat lunak Cadsoft EAGLE. Komponen utama meliputi:

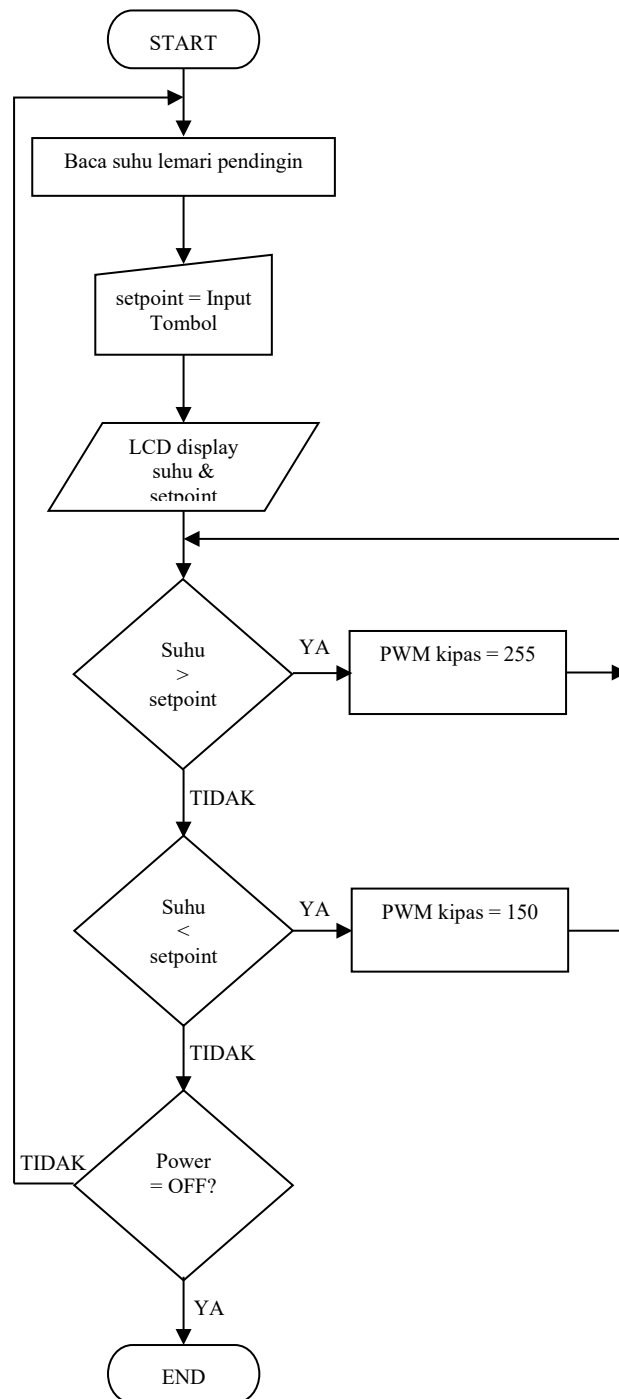
1. Pendingin: Modul Peltier TEC1-12706 dengan spesifikasi I<sub>max</sub> 6A dan Q<sub>max</sub> 56.5W.
2. Kontroler: ATmega328 dengan bootloader Arduino.
3. Sensor: DHT22 untuk mendeteksi suhu dan kelembaban.
4. Aktuator: Kipas DC yang dikendalikan kecepatannya menggunakan sinyal PWM untuk membuang panas di sisi panas Peltier.

Rangka fisik dibuat menggunakan bahan akrilik dengan dimensi 9 cm x 9 cm x 30 cm. Sistem mikrokontroler ditempatkan di bagian belakang terpisah dari ruang pendingin untuk mencegah kondensasi uap air merusak komponen elektronik.

## **2.2 Perancangan Perangkat Lunak**

Perangkat lunak dirancang menggunakan Arduino IDE dengan bahasa pemrograman C. Algoritma kendali bekerja dengan membandingkan suhu aktual dari sensor dengan set-point yang ditentukan pengguna.

- Jika Suhu > *Set-point*: PWM Kipas diset maksimum (255) untuk pendinginan cepat.
- Jika Suhu < *Set-point*: PWM Kipas diturunkan (150) untuk menjaga suhu stabil. Logika ini digambarkan dalam diagram alir (*flowchart*) sistem.



**Gambar 2.** Diagram Alir (*Flowchart*) Program Utama

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Pengujian Sensor Suhu

Pengujian akurasi dilakukan dengan membandingkan pembacaan sensor pada sistem dengan termometer standar PT100. Pengujian dilakukan pada rentang suhu 6°C hingga 32°C.

Tabel 1. Hasil Perbandingan Akurasi Sensor Suhu

| Sensor Sistem (°C) | PT100 (°C) | Selisih (°C) | Error (%) |
|--------------------|------------|--------------|-----------|
| 6                  | 6          | 0            | 0         |
| 11.6               | 11         | 0.6          | 5.45      |
| 12.7               | 12         | 0.7          | 5.83      |
| 18.1               | 18         | 0.1          | 0.55      |
| 27.2               | 28         | 0.8          | 2.86      |
| Rata-rata          |            | 0.38         | 2.29      |

Berdasarkan Tabel 1, rata-rata penyimpangan sensor adalah 2,29%, yang menunjukkan bahwa sensor memiliki tingkat akurasi yang memadai untuk aplikasi pendingin ini.

#### 3.2 Pengujian Kinerja Pendinginan dan Respon Sistem

Pengujian respon sistem dilakukan dengan menetapkan set-point suhu pada 10°C. Alat diuji dalam tiga kali percobaan dengan kondisi suhu awal yang berbeda.

[Tempatkan Gambar 4.2 Grafik suhu ruang pendingin terhadap waktu disini]

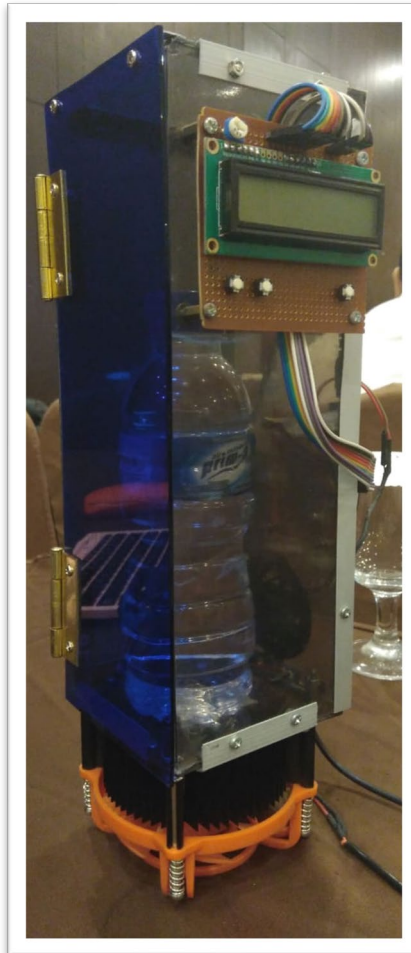
**Gambar 3.** Grafik Penurunan Suhu Ruang Pendingin Terhadap Waktu

Hasil pengujian pada Gambar 3 menunjukkan karakteristik respon sistem sebagai berikut:

- **Waktu Respon (*Rise Time*):** Sistem mampu menurunkan suhu hingga mencapai 10°C dalam waktu rata-rata 17 hingga 22 menit.
- **Kestabilan:** Setelah mencapai *set-point*, sistem mampu mempertahankan suhu dengan *steady state error* hanya 1% dan *overshoot* maksimal 3%.
- **Penerapan PWM:** Semakin besar nilai PWM yang diberikan mikrokontroler, semakin tinggi RPM kipas, yang efektif membuang panas dari sisi panas Peltier sehingga sisi dingin dapat bekerja maksimal.

#### 3.3 Implementasi Alat

Prototipe alat berhasil dibangun sesuai perancangan. LCD menampilkan suhu secara *real-time*, dan tombol berfungsi baik untuk mengatur suhu target. Kendala yang ditemukan adalah adanya kondensasi (bunga es) pada sisi dingin Peltier yang mencair, sehingga diperlukan saluran pembuangan air agar tidak mengenai rangkaian.



**Gambar 4.** Implementasi Prototipe Lemari Pendingin Pintar

#### **4. KESIMPULAN DAN SARAN**

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian, dapat disimpulkan bahwa:

1. Efek Peltier pada modul termoelektrik efektif digunakan sebagai alternatif pendingin portabel, mampu menurunkan suhu hingga 10°C dalam waktu kurang dari 25 menit.
2. Penerapan metode PWM pada kipas pendingin berhasil menjaga stabilitas suhu ruangan dengan tingkat *error* yang rendah.
3. Sensor suhu yang digunakan memiliki akurasi yang baik dengan rata-rata *error* 2,29%.

Saran untuk pengembangan selanjutnya adalah penambahan saluran pembuangan air kondensasi yang lebih baik dan penggunaan desain kipas yang memastikan aliran udara lebih merata pada *heatsink* untuk meningkatkan efisiensi pendinginan.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] J. H. Goldsmid, *Introduction to Thermoelectricity*. Springer, 2009.
- [2] W. Arismunandar, "Penyegaran udara," Bandung, vol. 2, no. 1, pp. 1-2, 1995.
- [3] R. J. Dossat, *Principles of Refrigeration*, New York: John Wiley & Sons, 1961.
- [4] Z. Zhao and G. Tan, "A review of Thermoelectric cooling: material, modeling and applications," *Applied Thermal Engineering*, vol. 66, pp. 14-24, 2014.
- [5] H. Andrianto, *Pemrograman Mikrokontroler AVR ATmega16*, Bandung: Informatika, 2008.
- [6] Iswanto, *Mikrokontroler AT90S2313 Dengan Basic Compiler*, Yogyakarta: Andi, 2008.
- [7] D. Artanto, *Merakit PLC dengan Mikrokontroller*, Jakarta: Elex Media Komputindo.
- [8] F. D. Petruzella, *Elektronik Industri*, Yogyakarta: ANDI, 2001.
- [9] Z. Duan, "Impingement air cooled plate fin heatsink," University of New Foundland, 2003.

