Sistem Kontrol pada *Portable Blood Cooler* dengan *Module Thermoelectric* dan Data Logger Berbasis IOT

Dimas Fachrian Qintara[1], Muhammad Anda Falahuddin[2*], Pratikto[3]

[1]*Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia*
E-mail : Dimas.fachrian.tptu23@polban.ac.id
[2]*Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia*
[*]*E-mail : m.andafalahuddin@polban.ac.id*
[3]*Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia*
E-mail : pratikto@polban.ac.id

ABSTRAK

Penyimpanan dan transportasi darah memerlukan rentang temperatur 2°C–10°C untuk menjaga kualitas sel darah, namun *cooler box* berbasis termoelektrik konvensional masih sulit mencapai kestabilan temperatur tersebut secara konsisten, sementara proses *monitoring* masih dilakukan secara manual sehingga rawan keterlambatan penanganan. Penelitian ini bertujuan merancang sistem kontrol dan *monitoring* pada *portable blood cooler backpack* berbasis modul termoelektrik TEC1-12710 yang terintegrasi dengan *Internet of Things* (IoT). Sistem menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor DS18B20 untuk pembacaan temperatur kabin dan lingkungan, serta *relay* 12V untuk mekanisme *cut-in* dan *cut-off*. Data temperatur ditampilkan secara *real-time* melalui LCD dan *dashboard online* berbasis MQTT serta *Firebase*, dilengkapi fitur *data logger* yang dapat diekspor ke Excel. Hasil pengujian menunjukkan sensor DS18B20 memiliki akurasi tinggi terhadap termometer air raksa (R^2 = 0,9972 untuk sensor kabin dan 0,9968 untuk sensor lingkungan), dengan rata-rata *error* menurun setelah kalibrasi. Sistem berhasil menurunkan temperatur kabin dari 23,71°C menjadi 5,72°C dalam 145 menit pada tahap precooling, serta mempertahankannya pada rentang aman 2°C–10°C selama pendinginan lanjutan. Pengujian *cut-in/cut-off* pada tiga variasi *differential* membuktikan sistem bekerja secara konsisten dan andal sesuai *setpoint* yang ditentukan.

Kata Kunci:
Blood cooler, IoT, termoelektrik, ESP32, *cut-in cut-off*

Blood storage and transportation require a temperature range of 2°C–10°C to preserve blood cell quality, yet conventional thermoelectric-based cooler boxes still struggle to maintain this range consistently, while monitoring is still largely performed manually, risking delayed handling. This study aims to design a control and monitoring system for a portable blood cooler backpack based on a TEC1-12710 thermoelectric module integrated with the Internet of Things (IoT). The system employs an ESP32 microcontroller, DS18B20 sensors for cabin and ambient temperature readings, and a 12V relay for the cut-in and cut-off mechanism. Temperature data is displayed in real time via an LCD and an online dashboard based on MQTT and Firebase, equipped with a data logger feature exportable to Excel. Test results show that the DS18B20 sensors achieve high accuracy against a mercury thermometer (R^2 = 0.9972 for the cabin sensor and 0.9968 for the ambient sensor), with average error decreasing after calibration. The system successfully lowered the cabin temperature from 23.71°C to 5.72°C within 145 minutes during precooling and maintained it within the safe range of 2°C–10°C during continued cooling. Cut-in/cut-off testing across three differential values confirmed the system operates consistently and reliably according to the specified set points.

Keywords:
Blood cooler, IoT, thermoelectric, ESP32, cut-in cut-off

1. PENDAHULUAN

Transfusi darah merupakan proses penggunaan darah dari donor untuk menggantikan sel darah yang hilang atau rusak akibat sakit, operasi, atau pendarahan. Darah yang diambil ketika donor biasanya tidak langsung digunakan, melainkan disimpan terlebih dahulu di *blood bank* untuk penyimpanan jangka waktu yang lama, serta menggunakan *blood box cooler* sebagai media penyimpanan pada saat transportasi, guna mempertahankan kualitas sel darah merah agar tetap dalam kondisi baik selama masa penyimpanan.

Untuk mempertahankan kualitas darah agar tetap baik sebelum digunakan, penyimpanan darah harus memenuhi standar temperatur yang telah ditetapkan. Penyimpanan darah jangka panjang harus disetel pada rentang temperatur 2°C hingga 6°C, karena temperatur di atas maksimum 6°C berfungsi meminimalisir pertumbuhan bakteri pada sel darah, sedangkan temperatur di bawah 2°C dapat menyebabkan sel darah merah

mengalami *hemolyze*, yang apabila ditransfusikan dapat menyebabkan gagal ginjal dan masalah pendarahan yang fatal (1). Lama maksimal penyimpanan darah bergantung pada jenis antikoagulan pada kantong darah yang digunakan: darah dengan antikoagulan *citrate phosphate dextrose* (CPD) bertahan selama 21 hari, sedangkan dengan *citrate phosphate dextrose adenine one* (CPDA-1) bertahan selama 35 hari setelah aftap. Adapun untuk penyimpanan transportasi darah dalam proses distribusi, temperatur harus berada pada rentang 2°C hingga 10°C dengan waktu transit maksimal 24 jam (2)(3).

Pendistribusian dan pengambilan darah hasil donor ke daerah-daerah di Indonesia yang beriklim tropis dan panas menjadi tantangan besar dalam mempertahankan kualitas darah tersebut. Pengembangan *cooler box* berbasis thermoelectric sebagai media transportasi darah telah banyak dilakukan, namun masih sulit untuk mencapai dan mempertahankan temperatur pada rentang 2°C hingga 10°C secara konsisten (4)(5). Proses *monitoring* temperatur penyimpanan selama distribusi juga masih belum sepenuhnya memudahkan, karena pemantauan kondisi darah seringkali masih dilakukan secara manual oleh tenaga medis yang memerlukan waktu dan tenaga ekstra. Hal ini dapat menyebabkan keterlambatan dalam penanganan, sehingga berpotensi membahayakan kondisi pasien yang sangat bergantung pada ketersediaan darah untuk pengobatan (1).

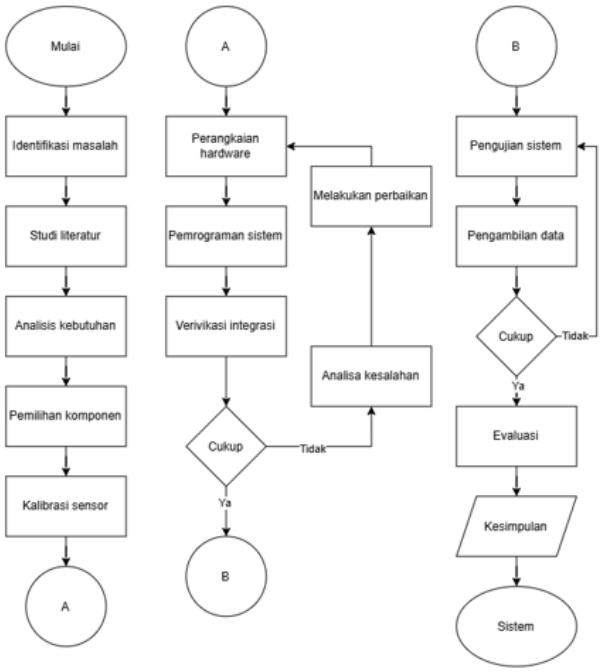
Teknologi *Internet of Things* (IoT) telah mengalami perkembangan pesat dan dimanfaatkan untuk proses *monitoring* dan *data logger* secara *real time*. Dengan penggunaan *microcontroller* sebagai pengendali sistem dan sensor sebagai pembaca data, pemantauan dan pengontrolan sistem di dalam kabin dapat dilakukan secara *mobile* atau dari jarak jauh. IoT menjadi pilihan menarik untuk pelacakan waktu nyata, manajemen produk, keamanan, dan pemantauan berkelanjutan, sekaligus menjadi bukti bahwa selama proses pendistribusian darah tetap dijaga dalam temperatur penyimpanan yang aman (6). Penerapan prinsip dasar IoT berupa pengumpulan data sensor temperatur secara otomatis menggunakan sensor DS18B20 dan penyimpanannya melalui *data logger* berbasis *dashboard online* menjadikan sistem ini selaras dengan penggunaan teknologi IoT, sekaligus membuka potensi pengembangan lebih lanjut (7)(8)(9). Sehingga penggunaan sistem *monitoring* dan kontrol berbasis IoT pada *portable blood cooler* menjadi sangat sesuai dengan permasalahan yang ada pada *portable blood cooler* konvensional.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem kontrol dan monitoring pada *portable blood cooler* berbasis modul *thermoelectric* yang terintegrasi dengan IoT, meliputi: mengetahui tingkat akurasi sensor DS18B20 melalui pengujian akurasi menggunakan metode regresi linier; menerapkan metode IoT dengan mengumpulkan *data sensor* temperatur secara otomatis dan mencatatkannya menggunakan sistem *data logger* untuk memudahkan proses *monitoring* temperatur penyimpanan darah secara *real time*; serta mengetahui keandalan fitur setpoint pada *dashboard online* sebagai alat kontrol jarak jauh yang terintegrasi dengan baik.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Diagram Alir Pengerjaan Sistem

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan sistematis yang digambarkan dalam diagram alir pada Gambar 1. Tahapan diawali dengan identifikasi masalah berdasarkan hasil evaluasi dari penelitian-penelitian sebelumnya mengenai sistem *portable blood cooler*, dilanjutkan dengan studi literatur untuk mencari solusi dari permasalahan yang teridentifikasi, analisis kebutuhan sistem (perangkat keras dan perangkat lunak), pemilihan komponen sistem, serta kalibrasi sensor temperatur.



Gambar 1. Diagram Alir Pengerjaan Sistem

Setelah tahap persiapan selesai, pengerjaan dilanjutkan pada perangkaian *hardware*, pemrograman sistem, dan verifikasi integrasi antara *hardware* dan *software*. Apabila integrasi sistem belum sesuai, dilakukan analisis kesalahan dan perbaikan hingga sistem dapat berfungsi sebagaimana mestinya. Jika sistem telah terintegrasi dengan baik, penelitian dilanjutkan pada tahap pengujian sistem dan pengambilan data. Data yang diperoleh dievaluasi kecukupannya; apabila belum memenuhi kriteria, pengujian dan pengambilan data diulang kembali. Data yang telah memenuhi kriteria selanjutnya dianalisis dan dievaluasi untuk kemudian ditarik kesimpulan sebagai tahap akhir penelitian.

2.2 Tahapan Penelitian

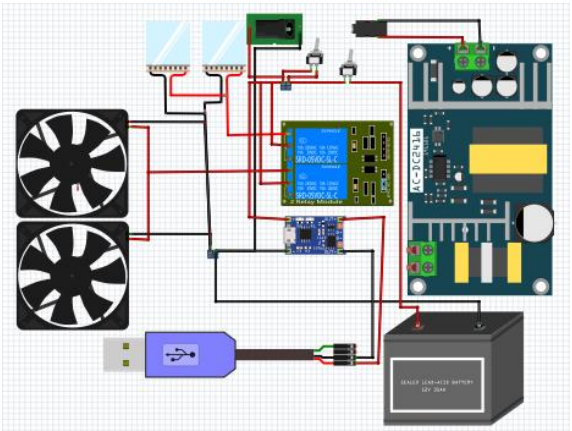
Penelitian ini mengembangkan sistem kontrol dan monitoring pada *Portable Blood Cooler Backpack* berbasis termoelektrik dan *Internet of Things* (IoT). Sistem menggunakan modul termoelektrik (peltier) sebagai komponen pendingin yang dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32, dengan sensor temperatur DS18B20 sebagai pembaca kondisi temperatur kabin secara *real-time*. Data temperatur yang diperoleh dikirimkan ke *dashboard online* sehingga proses *monitoring* dan kontrol dapat dilakukan dari jarak jauh selama proses pendistribusian darah berlangsung.

Sistem dirancang untuk menjaga temperatur kabin penyimpanan darah pada rentang aman 2°C–10°C. Pengendalian temperatur dilakukan menggunakan mekanisme *cut-in* dan *cut-off* melalui relay 12V: relay akan memutus arus menuju peltier dan *fan cut-off* saat temperatur kabin mencapai *set point* bawah, dan menyambungkan kembali arus *cut-in* saat temperatur kabin naik melewati *set point* atas.

Merujuk pada evaluasi penelitian terdahulu yaitu belum tercapainya rentang temperatur target, *running time* baterai yang singkat, desain yang kurang optimal untuk transportasi, dan tidak adanya indikator *monitoring* penelitian ini melakukan sejumlah pengembangan, meliputi: (1) kalibrasi sensor DS18B20 menggunakan metode regresi linear terhadap termometer air raksa; (2) penambahan tampilan temperatur pada LCD dan *dashboard online*; (3) penerapan sistem data logger berbasis ESP32 yang tersimpan otomatis ke *dashboard* dan berkas Excel; serta (4) penerapan sistem *cut-in/cut-off* untuk menjaga stabilitas temperatur kabin pada rentang penyimpanan darah yang aman.

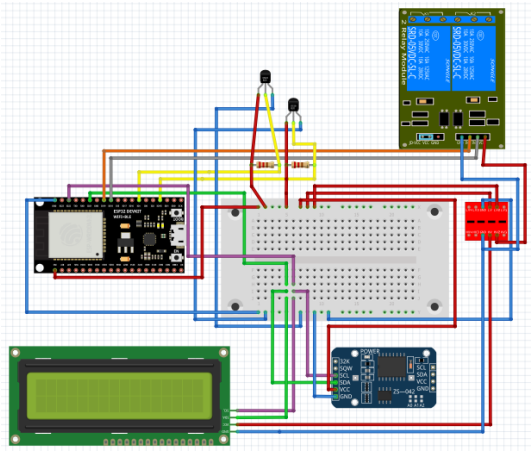
2.2.1 Perancangan Hardware

a. Rangkaian Beban



Gambar 2. Rangkaian Beban

b. Rangkaian Kontrol



Gambar 3. Rangkaian Kontrol

2.2.2 Perancangan Software

Perancangan perangkat lunak difokuskan pada penambahan fitur monitoring dan kontrol jarak jauh berbasis IoT. Data temperatur yang dibaca ESP32 diteruskan melalui koneksi internet ke server MQTT (untuk ditampilkan pada *dashboard* Ngelmu) dan ke *server Firebase* (untuk ditampilkan pada *dashboard* berbasis web). Kedua *platform* tersebut secara otomatis menampilkan data secara *real-time* sekaligus menyimpannya ke basis data masing-masing.

Selain fungsi monitoring, *dashboard* juga menyediakan fitur kontrol berupa menghidupkan/mematikan peltier melalui relay dan mengatur *set point* temperatur kabin. Perintah yang dikirimkan pengguna melalui *dashboard* diteruskan oleh *server* ke ESP32 untuk mengeksekusi perubahan status *relay* sesuai perintah yang diberikan.

2.2.3 Pengujian Fungsional

Pengujian fungsional bertujuan memastikan seluruh komponen dan fitur sistem mulai dari pembacaan sensor, pencatatan waktu, penyimpanan data, hingga tampilan pada LCD dan *dashboard* daring berfungsi sebagaimana mestinya. Alat dan bahan yang digunakan meliputi sistem kontrol dan *monitoring*, koneksi internet/Wi-Fi, perangkat *smartphone/laptop*, *power supply* 12V 30A, dan baterai lithium 4S 13,6V.

2.2.4 Kalibrasi Sensor

Kalibrasi sensor dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi pembacaan sensor DS18B20 dengan membandingkan hasil pembacaannya terhadap alat referensi yang lebih akurat, yaitu termometer air raksa. Proses kalibrasi menggunakan pendekatan regresi linear dengan persamaan:

$$y = bx + a \quad (1)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

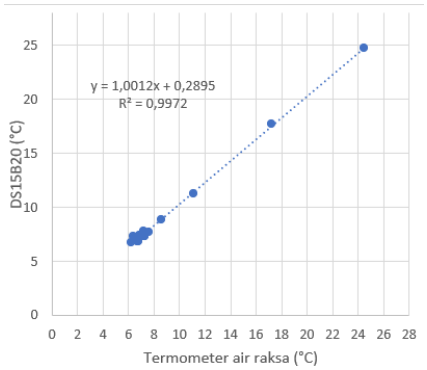
Pengujian sistem kontrol dan monitoring dilakukan untuk mengetahui kinerja, fungsi, akurasi, dan keandalan sistem yang telah dirancang. Pengujian dilakukan melalui tiga tahapan utama, yaitu pengujian akurasi sensor, pengujian fungsional sistem, serta pengujian *cut-in* dan *cut-off* pada sistem pendinginan.

3.1 Pengujian Akurasi

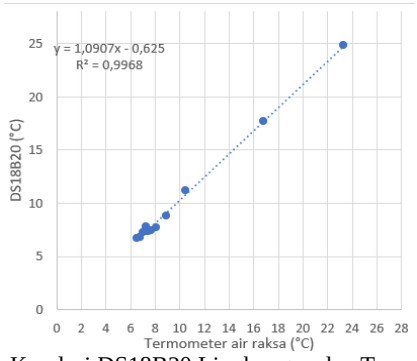
Pengujian akurasi dilakukan terhadap sensor DS18B20 dengan membandingkan hasil pembacaannya terhadap termometer air raksa sebagai alat ukur referensi, menggunakan pendekatan regresi linear sederhana yang diolah melalui Microsoft Excel. Pengujian dilakukan pada dua unit sensor, yaitu DS18B20 kabin dan DS18B20 lingkungan.

Hasil kalibrasi menghasilkan persamaan regresi linear sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5:

- DS18B20 kabin: $y = 1{,}0012x + 0{,}2895$; $R^2 = 0{,}9972$
- DS18B20 lingkungan: $y = 1{,}0907x - 0{,}625$; $R^2 = 0{,}9968$

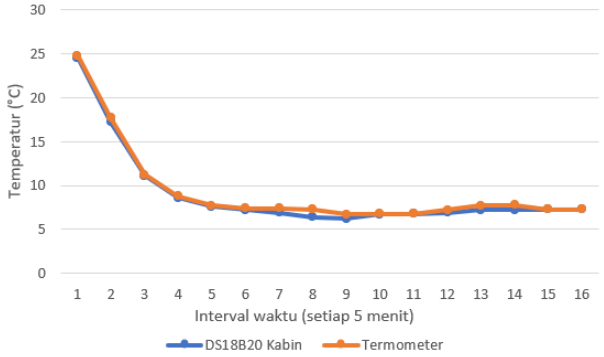


Gambar 4. Korelasi DS18B20 Kabin dan Termometer Air Raksa

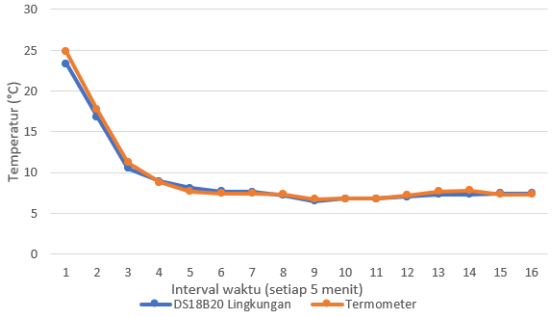


Gambar 5. Korelasi DS18B20 Lingkungan dan Termometer Air Raksa

Nilai koefisien determinasi (R^2) pada kedua sensor mendekati 1, yang menunjukkan hubungan linear yang sangat kuat antara pembacaan sensor DS18B20 dan alat ukur referensi, dengan pola perubahan yang konsisten mengikuti kenaikan dan penurunan temperatur pada termometer air raksa. Nilai kemiringan garis slope sebesar 1,0012 untuk sensor kabin dan 1,0907 untuk sensor lingkungan, keduanya bernilai lebih dari 1 mengindikasikan bahwa sensor cenderung membaca temperatur lebih tinggi dibandingkan alat referensi (*over-reading*). Nilai intersep sebesar −0,263 (kabin) dan 0,6006 (lingkungan) menunjukkan adanya *zero offset* pada masing-masing sensor.



Gambar 6. Korelasi Temperatur DS18B20 Kabin Setelah Kalibrasi



Gambar 7. Korelasi Temperatur DS18B20 Lingkungan Setelah Kalibrasi

Penurunan rata-rata *error* setelah kalibrasi pada gambar 6 dan gambar 7 menunjukkan bahwa proses kalibrasi berhasil meningkatkan akurasi pembacaan *sensor*. Berdasarkan hasil tersebut, *sensor* DS18B20 yang digunakan pada sistem ini dinyatakan memiliki tingkat akurasi yang layak dan sesuai untuk digunakan sebagai sensor monitoring temperatur pada sistem *portable blood cooler*.

3.2 Pengujian Fungsional

Pengujian fungsional dilakukan untuk memastikan setiap komponen dan fitur sistem berfungsi serta terintegrasi dengan baik. Pengujian ini mencakup: pembacaan temperatur kabin dan lingkungan oleh sensor DS18B20; kontrol sistem pendinginan (peltier dan *fan*) melalui mekanisme *cut-in/cut-off* baik secara otomatis maupun manual; sistem *data logger* yang dapat mengekspor data ke berkas Excel; *dashboard* daring sebagai media monitoring jarak jauh secara *real-time* melalui *web* dan *platform* Ngelmu; serta tampilan LCD sebagai

media *monitoring* secara *luring* (*offline*). Ringkasan hasil pengujian fungsional ditunjukkan pada Tabel 1.

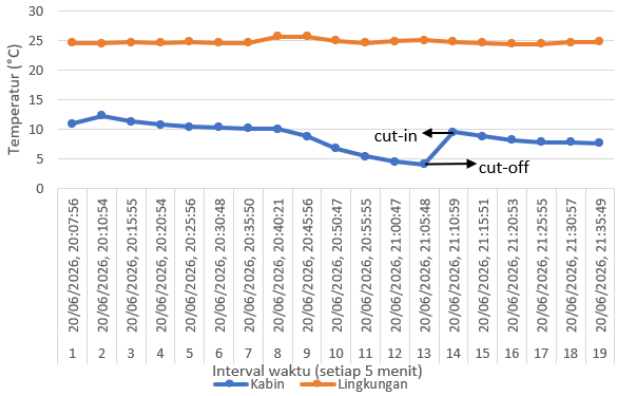
Tabel 1. Hasil Pengujian Fungsional

No	Pengujian	Hasil Sistem	Status Pengujian
1	Sistem dapat hidup dengan pemasok daya *power supply* 12V 30A	Sistem hidup dan beroperasi dengan baik	Sesuai
2	Penyambungan sistem/ESP 32 dengan koneksi internet/wi-fi	Sistem/ESP 32 dapat terhubung dengan wi-fi dengan baik	Sesuai
3	Pembacaan data temperatur	Sistem membaca temperatur	Sesuai
4	Relay berfungsi ketika sudah mendapati *temperature* kabin diatas *set point*	Relay berfungsi setelah pembacaan *temperature*	Sesuai
5	Sistem menampilkan keterangan waktu pada LCD dan *dashboard online* dengan sesuai	Keterangan waktu yang ditampilkan sistem sudah sesuai	Sesuai
6	Data tersimpan pada penyimpanan *dashboard online*	*Dashboard online* menyimpan data dengan sesuai	Sesuai
7	Sistem melakukan *precooling* menggunakan power *supply* sebagai pemasok daya	Sistem mampu melakukan *precooling* tanpa hambatan	Sesuai
8	Sistem hidup menggunakan baterai lithium 13,6V sebagai pemasok daya	Sistem dapat hidup menggunakan baterai lithium 13,6V	Sesuai
9	Sistem melakukan pendinginan lanjutan menggunakan baterai lithium 13,6V	Sistem dapat melakukan pendinginan lanjutan menggunakan baterai lithium 13,6V	Sesuai
10	Fitur kontrol *on/off* pada *dashboard online*	Sistem dapat on/off melalui dashboard online	Sesuai
11	Fitur *setpoint* pada *dashboard* online	Sistem dapat diatur setpointnya melalui dashboard online	Sesuai
12	Fitur ekspor data pada *dashboard online*	Data dapat diunduh dengan format excel	Sesuai

3.3 Pengujian *Cut-in* dan *Cut-off*

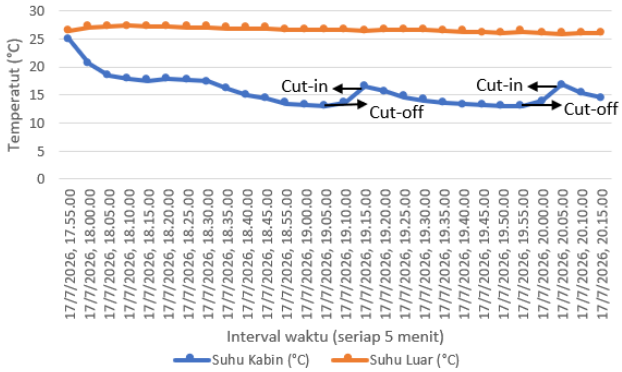
Pengujian *cut-in* dan *cut-off* dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam menjaga temperatur kabin pada rentang *set point* yang ditentukan melalui *dashboard* daring, dengan memvariasikan nilai *differential* sebesar 4°C, 3°C, dan 1°C tanpa beban produk di dalam kabin.

Pada pengujian dengan *differential* 4°C (*set point* 4°C–8°C), sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 8, temperatur kabin mengalami penurunan signifikan hingga mencapai titik *cut-off* aktual pada 3,87°C, kemudian *cut-in* kembali pada 8,75°C. Setelah *cut-in*, temperatur kabin tidak langsung turun melainkan baru mulai turun kembali setelah mencapai 9,25°C, karena pada kondisi *cut-off* sisi panas peltier sempat mentransfer kalor sisa ke dalam kabin alih-alih menyerap kalor.



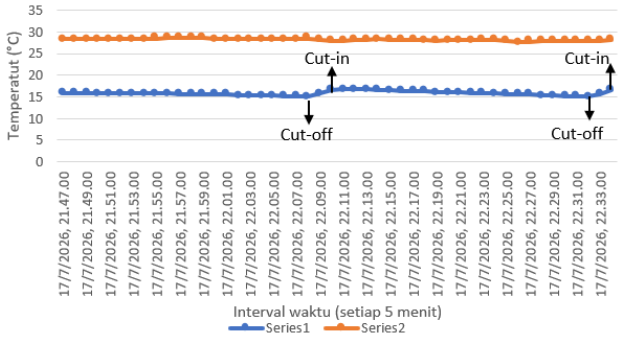
Gambar 8. Hasil Pengujian *Cut-off* dan *Cut-in* pada *Differential* 4°C

Pada pengujian dengan *differential* 3°C (*set point* 13°C–16°C), sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9, tercatat dua siklus *cut-off/cut-in*: siklus pertama pada titik *cut-off* 12,92°C dan *cut-in* 16,48°C, serta siklus kedua pada titik *cut-off* 12,98°C dan *cut-in* 16,18°C.



Gambar 9. Hasil Pengujian *Cut-off* dan *Cut-in* pada *Differential* 3°C

Pada pengujian dengan *differential* 1°C (*set point* 15°C–16°C), sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 10, juga tercatat dua siklus *cut-off/cut-in*: siklus pertama pada titik *cut-off* 15,09°C dan *cut-in* 16,58°C, serta siklus kedua pada titik *cut-off* 15,09°C dan *cut-in* 16,68°C. Karena rentang *differential* yang sempit, penurunan temperatur kabin pada pengujian ini relatif kecil dibandingkan dua pengujian sebelumnya.



Gambar 10. Hasil Pengujian *Cut-off* dan *Cut-in* pada *Differential* 1°C

Secara keseluruhan, hasil pengujian pada ketiga variasi *differential* menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan *cut-in* dan *cut-off* secara konsisten mendekati nilai *set point* yang telah ditentukan, dengan selisih aktual terhadap *set point* yang relatif kecil pada setiap variasi *differential* yang diuji. Hal ini mengindikasikan bahwa mekanisme kontrol pendinginan berbasis relay yang diterapkan pada sistem mampu menjaga temperatur kabin secara andal pada rentang yang diinginkan.

4. KESIMPULAN

Sistem kontrol dan monitoring *portable blood cooler backpack* berbasis termoelektrik dan IoT dengan mikrokontroler ESP32 telah berhasil dirancang dan diimplementasikan, mengintegrasikan modul termoelektrik TEC1-12710 sebagai komponen pendingin, sensor DS18B20 sebagai pembaca temperatur kabin dan lingkungan, serta relay 12V sebagai aktuator kontrol *cut-in/cut-off*. Data temperatur berhasil ditampilkan secara *real-time* melalui LCD serta *dashboard* daring berbasis MQTT (Ngelmu) dan *Firebase*, lengkap dengan fitur *data logger* yang dapat diekspor langsung ke format Excel, sehingga proses monitoring dan pencatatan dapat dilakukan dari jarak jauh tanpa memerlukan operator di lokasi.

Pengujian fungsional menunjukkan seluruh komponen berstatus "Sesuai". Sensor DS18B20 menunjukkan akurasi yang baik dengan hubungan linear positif yang kuat terhadap termometer air raksa sebagai alat ukur referensi (R^2 = 0,9972 untuk sensor kabin dan R^2 = 0,9968 untuk sensor lingkungan), dengan rata-rata *error* yang menurun setelah kalibrasi dari 6% menjadi 3,6% (kabin) dan dari 5% menjadi 3,2% (lingkungan). Sistem pendingin terbukti mampu menurunkan temperatur kabin dari 23,71°C hingga 5,72°C dalam 145 menit pada tahap *precooling*, dan mempertahankannya hingga 5,48°C selama 130 menit pada tahap pendinginan lanjutan menggunakan baterai lithium, sehingga berada dalam rentang aman penyimpanan dan transportasi darah, yaitu 2°C–10°C. Pengujian pada tiga variasi *differential* (4°C, 3°C, dan 1°C) turut membuktikan bahwa mekanisme *cut-in* dan *cut-off* berbasis relay bekerja secara konsisten dan adaptif mendekati *set point* yang ditentukan, dengan rentang fluktuasi temperatur yang semakin sempit seiring mengecilnya nilai *differential* yang digunakan.

Pengembangan lebih lanjut disarankan pada penambahan fitur notifikasi otomatis melalui aplikasi Telegram atau email pada *dashboard* daring, yang aktif ketika temperatur kabin keluar dari rentang aman 2°C–10°C, guna mempercepat tindak lanjut operator terhadap potensi penyimpangan temperatur yang dapat memengaruhi kualitas darah yang disimpan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, atas fasilitas laboratorium dan bengkel yang digunakan dalam perancangan dan pengujian alat, serta kepada seluruh pihak yang telah memberikan bimbingan dan dukungan selama penelitian ini berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

1 R. M. Heryanto, D. T. Liputra, V. Arisandhy, and N. N. Amalina, “Desain Mitigasi Risiko Rantai Pasok Darah Menggunakan Pendekatan Baru,” *J. Rekayasa Sist. Ind.*, vol. 13, no. 2, pp. 143–156, 2024.

2 N. R. Windya and Adinda, “The Effect Storage Of Blood Bags on Hemoglobin LevelsIn The Unit Donor Darah PMI Palangka Raya,” *Borneo J. Med. Lab. Technol.*, vol. 4, pp. 242–248, 2021.

3 A. Novitasari *et al.*, “Peratuturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 91 2015 Standar Pelayanan Tranfusi Darah,” *J. KesMaDaSka*, vol. 10, no. 2, pp. 166–172, 2015.

4 S. Jiang, S. Jia, and H. Guo, “Internet of Things (IoT)-enabled framework for a sustainable Vaccine cold chain management system,” *Heliyon*, vol. 10, no. 7, p. e28910, 2024.

5 R. Putra Wata, “Sistem Monitoring Temperatur dan Daya Untuk Cooler Box Thermoelectric Menggunakan Mikrokontroler ESP32 Berbasis Internet of Thing (IoT),” 2024.

6 A. Ramdan, A. Badarudin, and Bowo Yuli Prasetyo, “Rancang Bangun Cooler Blood Box Portable dengan Menggunakan Sistem Thermoelectric,” *Pros. Ind. Res. Work. Natl. Semin.*, vol. 15, no. 1, pp. 70–74, 2024.

7 F. A. Perdana, “Baterai Lithium,” *INKUIRI J. Pendidik. IPA*, vol. 9, no. 2, p. 113, 2021.

8 L. A. Zein and M. Basri, “Sistem Monitoring dan Pendukung Keputusan Kondisi Kesehatan Pasien Menggunakan Integrasi Sensor Tanda Vital Berbasis IoT dengan Metode C4.5,” *Hello World J. Ilmu Komput.*, vol. 4, no. 3, pp. 171–184, 2025.

9 M. Pangestu, P. Ipin, S. Aprilia, and I. Untari, “Design and Construction of Infusion Channel Monitoring Device with Data Logger Spreadsheet and Telegram Notification Rancang Bangun Alat Monitoring Channel Infus dengan Data Logger Spreadsheet dan Notifikasi Telegram,” *RADIANT J. Applied, Soc. Educ. Stud.*, vol. 6, no. 1, pp. 56–68, 2025.

10 A. B. Pulungan and D. S. Goci, “Penggunaan Sistem Data logger Dalam Pencatatan Data Parameter Panel Surya berbasis Mikrokontroler,” *JTEV (Jurnal Tek. Elektro dan Vokasional)*, vol. 7, no. 2, p. 337, 2021.

11 F. Ardi Wibowo, Y. Agus Pranoto, and R. Primaswara Prasetya, “Penerapan Iot (Internet of Thing) Untuk Monitoring Online Penggunaan Air Pdam Prabayar,” *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.*, vol. 5, no. 1, pp. 146–151, 2021.

12 I. I. J. Rifka Alkhilyatul Ma’rifat, I Made Suraharta, “Pengaruh Variasi Rangkaian Peltier TEC1-12710 Terhadap Perubahan Temperatur Pada Cooler Box,” vol. 2, pp. 306–312, 2024.

13 M. B. S. Abighail, S. Sujono, G. N. Mutaqien, and A. Abdullathif, “Kajian Teoritis Teknologi Termoelektrik Peltier Tec1-12706 Untuk Sistem Pendingin Pemanas Air Berkelanjutan,” *Pros. Semin. Nas. Teknol. Energi dan Miner.*, vol. 5, no. 1, pp. 299–306, 2025.

14 F. Zeng, C. Pang, and H. Tang, “Sensors on Internet of Things Systems for the Sustainable Development of Smart Cities: A Systematic Literature Review,” *Sensors*, vol. 24, no. 7, 2024.

15 A. Aditya, Pramudito; Puput, Wanarti R; Miftahur, Rohman; Lilik, “AnalisisdanSimulasiSistem Kontrol Suhu Otomatis Berbasis Fuzzy Logic,” *Parasitol. Fishes.*, vol. 147004, no. 1905, pp. 1–21, 2025.