Rancang Bangun *Cooler Vending Machine* dengan Sistem *Monitoring* dan Kontrol Suhu serta Volume di Cafe TEKOPLAY

Agung Nugroho[*1], Miftakhul Huda[2] , Septriandi Wirayoga[3]

[1,2,3]Program Studi Teknik Elektronika Kampus Kediri, Politeknik Negeri Malang, Indonesia
Email: [1]2241190035@student.polinema.ac.id, [2]miftakhul.huda@polinema.ac.id,
[3]yoga.septriandi@polinema.ac.id

Nomor Handphone : 085735423428

Abstrak

Minuman *cold brew* membutuhkan penyimpanan stabil pada suhu 13°C–15°C untuk menjaga profil rasa dan mencegah bakteri. Cafe TEKOPLAY kesulitan menjaga kesegaran produk akibat fluktuasi suhu pendingin konvensional dan keterbatasan daya listrik maksimal 450 Watt. Mengatasi hal tersebut, penelitian ini merancang *Cooler Vending Machine* berdaya rendah yang terintegrasi IoT berbasis mikrokontroler ESP32. Sistem ini menggunakan pendingin termoelektrik Peltier TEC1-12702 (konsumsi daya 132 Watt) yang dioptimalkan dengan *water block*, heatsink, kipas, dan *ice pack*, sehingga efisien untuk kebutuhan UMKM. ESP32 mengontrol suhu secara presisi dengan metode On/Off pada Solid State Relay (SSR) menggunakan umpan balik empat sensor suhu DS18B20. Ketersediaan minuman dipantau oleh empat sensor ultrasonik pada tangki *stainless steel food-grade*, dan datanya dikirim secara *real-time* ke *dashboard ThingsBoard*. Mesin ini juga memiliki peringatan dini melalui lima notifikasi Telegram: status operasi, indikasi maintenance (suhu >15°C), peringatan kritis (suhu >20°C), batas masa simpan susu (maksimal 3 hari), dan pengingat isi ulang (volume <20%). Hasil pengujian menunjukkan performa akurasi sensor suhu 99,7% dan ultrasonik 98,5%. Alat ini berhasil mendigitalisasi manajemen stok, menjaga kesegaran minuman otomatis, serta beroperasi aman tanpa membebani kapasitas daya listrik UMKM.

Kata kunci: *Cold brew*, ESP32, Kontrol On/Off, Peltier, *Vending Machine*.

Abstract

Cold brew beverages require stable storage at temperatures of 13°C–15°C to maintain their flavor profile and prevent bacterial growth. Cafe TEKOPLAY struggles to maintain product freshness due to temperature fluctuations in conventional coolers and a maximum electrical power limit of 450 Watts. To overcome this, this study designed a low-power, IoT-integrated Cooler Vending Machine based on the ESP32 microcontroller. This system utilizes a Peltier TEC1-12702 thermoelectric cooler (consuming 132 Watts of power) optimized with a water block, heatsink, fan, and ice pack, making it efficient for MSME (Micro, Small, and Medium Enterprises) needs. The ESP32 precisely controls the temperature using an On/Off method on a Solid State Relay (SSR) based on feedback from four DS18B20 temperature sensors. Beverage availability is monitored by four ultrasonic sensors installed on a food-grade stainless steel tank, and the data is transmitted in real-time to the ThingsBoard dashboard. The machine also features an early warning system through five Telegram notifications: operational status, maintenance indication (temperature >15°C), critical warning (temperature >20°C), milk shelf-life limit (maximum of 3 days), and a refill reminder (volume <20%). Test results showed a temperature sensor accuracy of 99.7% and an ultrasonic sensor accuracy of 98.5%. This device successfully digitalized stock management, automatically maintained beverage freshness, and operated safely without overloading the MSME's electrical power capacity.

Keywords: *Cold brew, ESP32, On/Off Control, Peltier, Vending Machine.*

This work is an open access article and licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)

1. PENDAHULUAN

Tren minuman cold brew terus meningkat karena ekstraksi suhu rendah terbukti menghasilkan tingkat keasaman yang lebih rendah dan profil rasa yang lebih halus [1]. Hal ini menuntut UMKM seperti Cafe TEKOPLAY untuk selalu menjaga kualitas produknya. Namun, pendingin konvensional yang digunakan sering memicu fluktuasi suhu akibat intensitas buka-tutup pintu. Padahal, karakteristik cold brew sangat rentan dan wajib dipertahankan pada rentang 13°C - 15°C untuk menekan laju oksidasi serta mencegah proliferasi bakteri pembusuk [1],[2],[3]. Selain itu, manajemen stok manual dinilai kurang efisien, sementara penggunaan vending machine industri terkendala tingginya biaya dan batas daya listrik UMKM (maksimal 450 Watt).

Sebagai solusi, dirancang Cooler Vending Machine berdaya rendah terintegrasi IoT berbasis ESP32. Sistem ini mendinginkan tangki minuman stainless steel food-grade menggunakan termoelektrik Peltier TEC1-12702 [4] dengan konsumsi daya sekitar 132 Watt, yang dioptimalkan melalui water block, heatsink, kipas, dan ice pack. ESP32 mengatur suhu secara presisi melalui metode on/off pada Solid State Relay (SSR) berdasarkan umpan balik dari sensor suhu DS18B20.

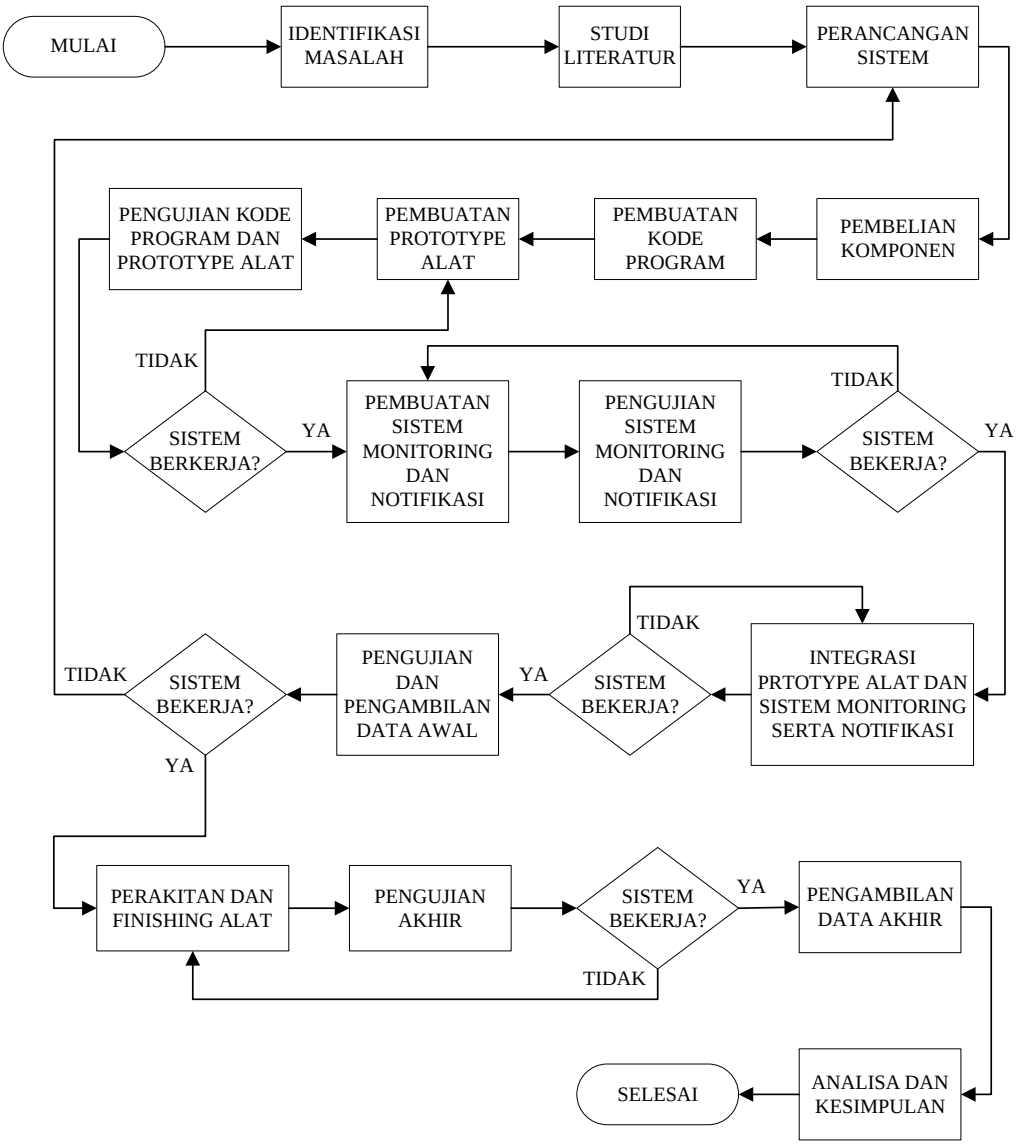
Untuk melengkapi otomasi, sistem memantau volume tangki menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 dan mengirim datanya ke dashboard ThingsBoard. Terdapat sistem peringatan dini melalui lima notifikasi Telegram: status operasi, indikasi maintenance (suhu >15°C), peringatan kritis (suhu >20°C), batas maksimal simpan susu (3 hari), dan pengingat isi ulang (volume <20%). Inovasi ini diharapkan mampu mendigitalisasi stok dan menjaga kesegaran minuman tanpa membebani daya listrik.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *Research* dan *Development* atau riset dan pengembangan. Metode penelitian dan pengembangan (R&D) diterapkan ketika bertujuan untuk menghasilkan produk tertentu sekaligus menguji efektivitasnya. Melalui metode R&D, diharapkan dapat ditemukan dan diuji produk-produk baru yang bermanfaat bagi kehidupan manusia, lembaga, dan masyarakat. Pada penelitian ini akan dilakukan sebuah rancang dan bangun sebuah alat Cooler Vending Machine yang dikembangkan secara spesifik untuk menjaga kesegaran minuman dingin, serta dilengkapi dengan fitur pemantauan suhu dan volume secara terintegrasi.

2.1 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan Cooler Vending Machine dengan Sistem Monitoring dan Kontrol Suhu serta Volume di Cafe TEKOPLAY. Proses penelitian dilakukan secara terperinci dan runtut agar mempermudah pelaksanaan dalam memperoleh data yang sesuai dengan rumusan masalah serta tujuan penelitian. Tahapan ini menjadi pedoman utama agar sistem yang dikembangkan mampu berfungsi sesuai dengan target, yaitu menjaga kestabilan suhu Cooler Vending Machine serta menyediakan monitoring suhu dan volume minuman secara real-time pada dashboard Thingsboard. Urutan hal tersebut bisa dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

2.2 Variabel dan Parameter Uji

Variabel dan parameter uji dalam penelitian yang akan dilakukan ditunjukkan pada tabel 1 dan 2.

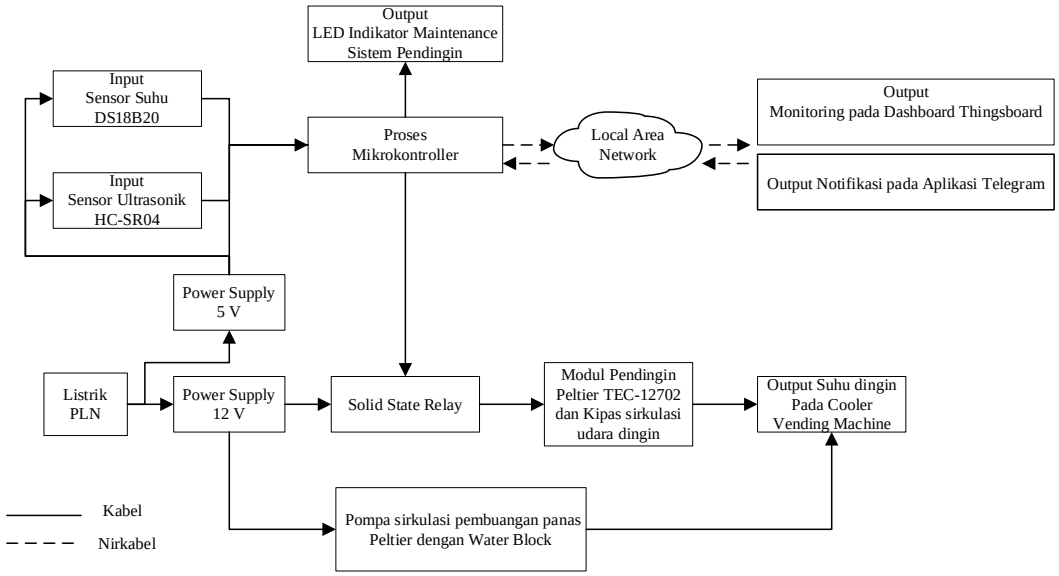
Tabel 1. Variabel Penelitian

No	Variabel	Keterangan
1	Bebas	*Setpoint* suhu yang digunakan. Sistem *monitoring* menggunakan *platform Thingsboard.* Notifikasi menggunakan aplikasi Telegram
2	Terikat	Pembacaan suhu berdasarkan pembacaan sensor suhu DS18B20, dan pembacaan volume berdasarkan pembacaan sensor ultrasonik HC-SR04.
3	Kontrol	Kontrol *on/off* relay menggunakan mikrokontroler ESP32 untuk mengatur modul pendingin Peltier dalam menjaga suhu agar tetap berada pada *setpoint* yang telah ditentukan

Tabel 2. Parameter Uji

No	Variabel	Keterangan
1	Data pembacaan sensor suhu DS18B20	Suhu dalam satuan derajat Celcius yang dibaca oleh sensor suhu DS18B20.
2	Data pembacaan sensor ultrasonik HC-SR04	Volume minuman pada *Cooler Vending Machine* dalam satuan persen yang dibaca oleh sensor ultrasonik HC-SR04.
3	Fluktuasi Suhu	Menilai kemampuan sistem mempertahankan setpoint suhu 13°C-15°C.

2.3 Diagram Blok Sistem

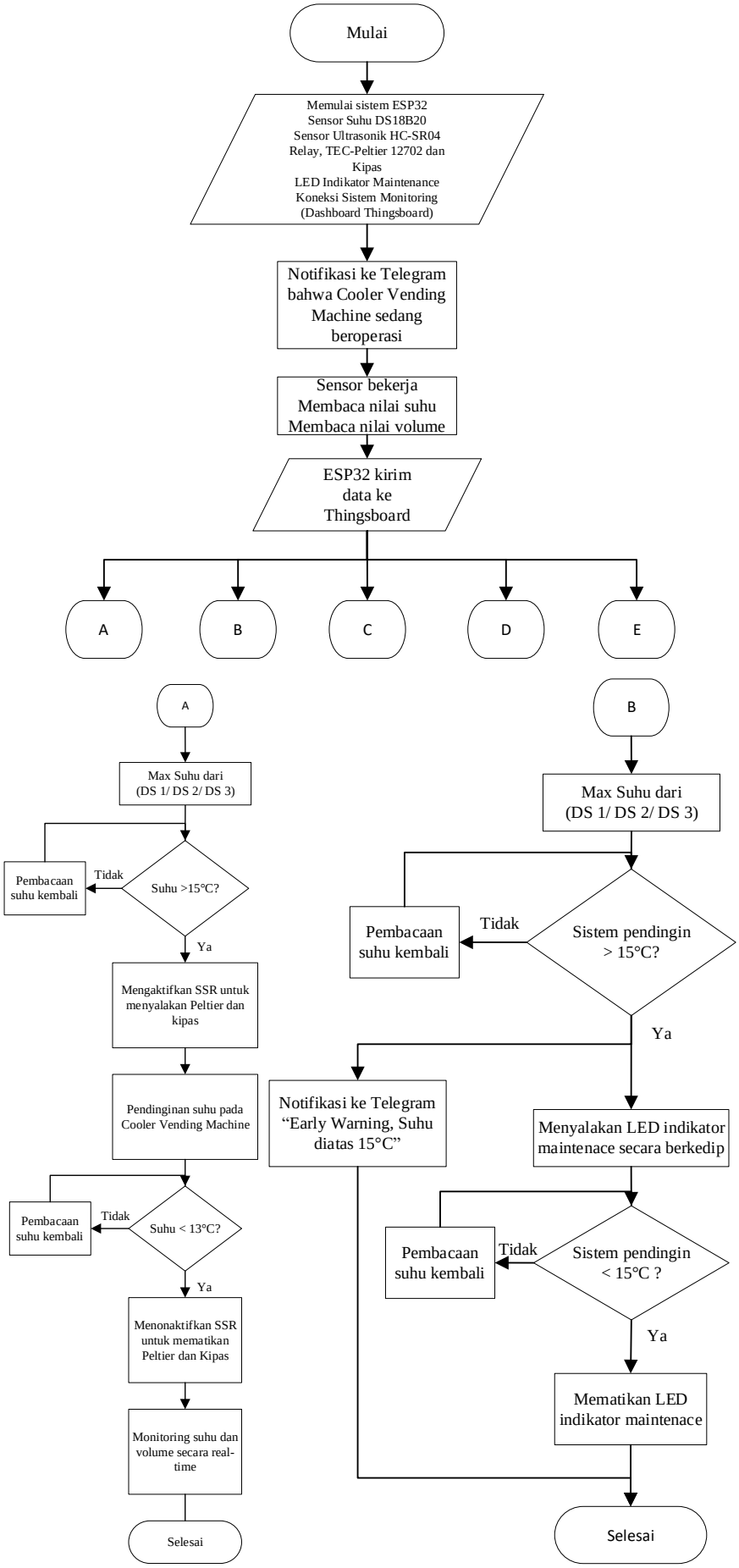


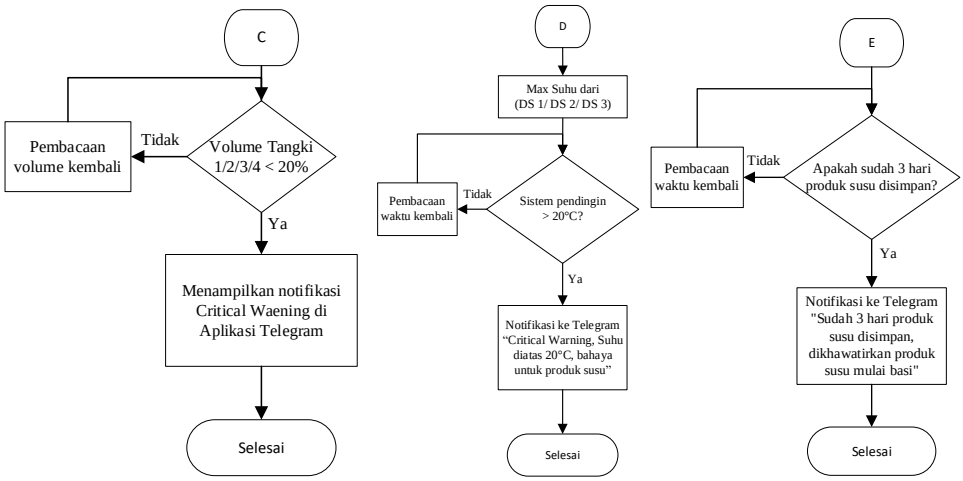
Gambar 2. Diagram Blok Sistem

Berdasarkan Gambar 2. Diagram blok sistem mengilustrasikan integrasi komponen input, proses, dan output yang berpusat pada mikrokontroler ESP32 dengan dukungan catu daya 12V dan stepdown 5V. Sebagai input, sensor suhu waterproof DS18B20 digunakan untuk mengukur suhu minuman secara langsung dan presisi, sementara sensor ultrasonik HC-SR04 mendeteksi sisa volume minuman secara nirsentuh. Data dari kedua sensor tersebut diproses oleh ESP32 untuk menjalankan fungsi pengendalian dan pemantauan. Pada fungsi pengendalian, ESP32 menjaga suhu setpoint (13°C–15°C) menggunakan metode kontrol on/off pada Solid State Relay (SSR) yang terhubung ke modul pendingin Peltier TEC1-12702; pendingin akan aktif jika suhu melampaui 15°C dan nonaktif saat mencapai 13°C. Apabila sistem gagal menurunkan suhu hingga batas 15°C, LED indikator akan menyala sebagai tanda dibutuhkannya proses pemeliharaan (maintenance). Pada fungsi pemantauan, seluruh data sensor dikirimkan untuk divisualisasikan pada dashboard ThingsBoard secara real-time. Sistem ini juga dilengkapi peringatan dini berupa notifikasi Telegram yang aktif saat volume minuman turun di bawah 20%. Melalui integrasi otomasi ini, efisiensi operasional pengelola Cafe TEKOPLAY dalam menjaga kesegaran produk dan manajemen stok dapat meningkat secara signifikan.

2.4 Perancangan Logika Sistem

Perancangan logika sistem menggambarkan alur kerja dan proses pengendalian Pada Cooler Vending Machine. Untuk alur logika sistem ini dapat di tunjukkan pada Gambar 3.


Mulai
Memulai sistem ESP32
Sensor Suhu DS18B20
Sensor Ultrasonik HC-SR04
Relay, TEC-Peltier 12702 dan Kipas
LED Indikator Maintenance
Koneksi Sistem Monitoring (Dashboard Thingsboard)
Notifikasi ke Telegram bahwa Cooler Vending Machine sedang beroperasi
Sensor bekerja
Membaca nilai suhu
Membaca nilai volume
ESP32 kirim data ke Thingsboard
A
B
C
D
E
A
Max Suhu dari (DS 1/ DS 2/ DS 3)
Suhu >15°C?
Tidak
Pembacaan suhu kembali
Ya
Mengaktifkan SSR untuk menyalakan Peltier dan kipas
Pendinginan suhu pada Cooler Vending Machine
Suhu < 13°C?
Tidak
Pembacaan suhu kembali
Ya
Menonaktifkan SSR untuk mematikan Peltier dan Kipas
Monitoring suhu dan volume secara real-time
Selesai
B
Max Suhu dari (DS 1/ DS 2/ DS 3)
Sistem pendingin > 15°C?
Tidak
Pembacaan suhu kembali
Ya
Notifikasi ke Telegram "Early Warning, Suhu diatas 15°C"
Menyalakan LED indikator maintenace secara berkedip
Sistem pendingin < 15°C ?
Tidak
Pembacaan suhu kembali
Ya
Mematikan LED indikator maintenace
Selesai



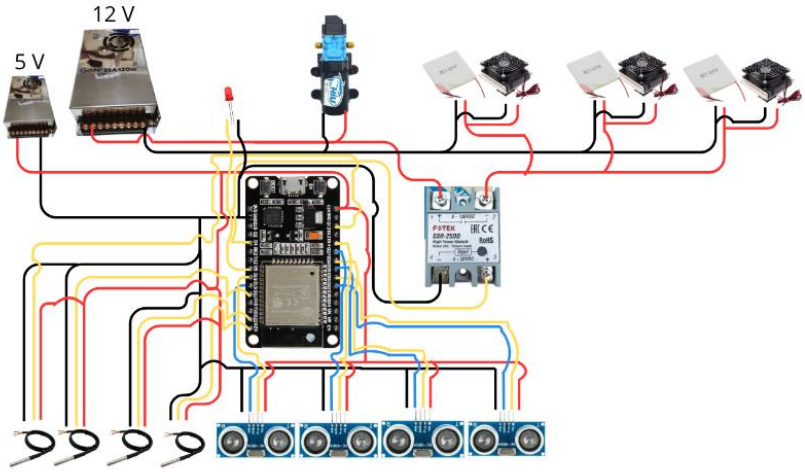
Gambar 3. *Flowchart* Sistem

Pada gambar 3 *Flowchart* Rancang Bangun Cooler Vending Machine dengan Sistem Monitoring dan Kontrol Suhu serta Volume di Cafe TEKOPLAY dijelaskan secara bertahap melalui *Flowchart* Sistem yang diawali dengan proses inisialisasi sistem. Pada tahap ini, mikrokontroler ESP32 mengaktifkan seluruh komponen utama, meliputi sensor suhu DS18B20, sensor ultrasonik HC-SR04, sistem kontrol relay untuk mengendalikan modul pendingin Peltier TEC1-12702, sistem water block dan pompa sirkulasi untuk pembuangan sisi panas peltier secara maksimal agar suhu sisi dingin peltier dapat lenih dingin. LED indikator *maintenance* (pemeliharaan/perawatan sistem pendingin), serta koneksi sistem monitoring pada *dashboard Thingsboard*. Setelah sistem aktif, sensor mulai membaca nilai suhu dan volume minuman secara aktual, kemudian data tersebut ditampilkan secara *real-time* ke *dashboard Thingsboard*.

Logika kerja sistem dibagi ke dalam 3 bagian utama, yaitu pengendalian/kontrol suhu, *monitoring* suhu dan volume serta indikator *maintenance*. Pada proses pengendalian suhu, nilai suhu yang terbaca akan dibandingkan dengan nilai yang telah ditentukan yaitu pada suhu 13°-25°C. Apabila suhu terdeteksi melebihi 15°C, ESP32 akan mengaktifkan relay untuk menyalakan modul pendingin Peltier dan kipas untuk menurunkan suhu sampai suhu mencapai 13°C di dalam *Cooler Vending Machine*. Jika suhu sudah mencapai 13°C maka akan menonaktifkan relay dan mematikan Peltier dan kipas, dilakukan secara berulang supaya menjaga suhu 13°-15°C di dalam *Cooler Vending Machine.* Kemudian terdapat LED indikator *maintenance* (pemeliharaan/perawatan sistem pendingin), jika suhu melebihi 15°C maka akan menyalakan LED indikator *maintenance* (pemeliharaan/perawatan sistem pendingin), dan jika suhu $\leq$ 15°C maka akan mematikan LED indikator *maintenance* (pemeliharaan/perawatan sistem pendingin).

Secara bersamaan, sistem juga melakukan pemantauan volume minuman menggunakan sensor ultrasonik HC-SR 04 yang bekerja tanpa kontak langsung dengan minuman. Sistem ini menampilkan notifikasi pada aplikasi Telegram "*critical warning"* (peringatan kritis) ketika volume turun hingga dibawah 20%. Kemudian Notifikasi ketika mesin sedang beroperasi dan notifikasi ketika suhu diatas setpoint. Seluruh proses tersebut berlangsung secara berulang dalam siklus *monitoring* berkala dan ditampilkan pada *dashboard Thingsboard* untuk memastikan kesegaran dan ketersediaan minuman tetap terjaga.

2.5 Perancangan Elektrik Perangkat



Gambar 4. Desain Elektrik

Perancangan sistem ini mencakup integrasi beberapa komponen yang terdiri dari mikrokontroler, sensor, dan aktuator untuk menjalankan fungsi *monitoring* serta kontrol suhu secara otomatis. Perancangan komponen dilakukan melalui pembuatan blok diagram sistem kerja serta rangkaian skematik elektronik guna mempermudah proses perakitan alat. Fokus utama perancangan adalah memastikan hubungan antar pin komponen ke mikrokontroler ESP32 terkonfigurasi dengan tepat agar data sensor suhu DS18B20 dan sensor ultrasonik HC-SR04 dapat dibaca dan di*monitoring* secara *real-time*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kalibrasi Sensor Suhu DS18B20

Untuk memastikan sensor suhu DS18B20 sesuai dan dapat digunakan sebagai pengukur suhu pada penelitian kali ini maka perlu dilakukan kalibrasi terlebih dahulu seperti pada Tabel 3 hingga Tabel 6.

Tabel 3. Kalibrasi Sensor Suhu DS18B20 Tangki 1

No	Sensor Suhu DS18B20 (°C)	Termometer Digital (°C)	Selisih Nilai	Error	Akurasi
1	11.02	11,0	0,02	0.18%	99.82%
2	11.97	12,0	0,03	0.25%	99.75%
3	13.04	13,0	0,04	0.31%	99.69%
4	14.08	14,1	0,02	0.14%	99.86%
5	14.96	15,0	0,04	0.27%	99.73%
6	16.03	16,0	0,03	0.19%	99.81%
7	16.95	17,0	0,05	0.29%	99.71%
8	18.05	18,0	0,05	0.28%	99.72%
9	18.94	19,0	0,06	0.32%	99.68%
10	20.02	20,0	0,02	0.10%	99.90%
Rata-rata				**0.23%**	**99.77%**

Berdasarkan Tabel 3, pembacaan sensor DS18B20 pasca-kalibrasi menunjukkan tingkat kesesuaian yang sangat tinggi terhadap instrumen acuan Termometer Digital. Peningkatan akurasi rata-rata yang signifikan mencapai **99,77%** membuktikan bahwa pendekatan kalibrasi matematis ini berhasil meminimalkan nilai error pembacaan secara optimal.

Tabel 4. Kalibrasi Sensor Suhu DS18B20 Tangki 2

No	Sensor Suhu DS18B20 (°C)	Termometer Digital (°C)	Selisih Nilai	Error	Akurasi
1	10.95	11,0	0,05	0.45%	99.55%
2	12.04	12,0	0,04	0.33%	99.67%
3	12.93	13,0	0,07	0.54%	99.46%
4	14.15	14,1	0,05	0.35%	99.65%
5	15.06	15,0	0,06	0.40%	99.60%
6	15.92	16,0	0,08	0.50%	99.50%
7	17.04	17,0	0,04	0.24%	99.76%
8	17.91	18,0	0,09	0.50%	99.50%
9	19.07	19,0	0,07	0.37%	99.63%
10	19.93	20,0	0,07	0.35%	99.65%
Rata-rata				**0.40%**	**99.60%**

Berdasarkan Tabel 4, pembacaan sensor DS18B20 pasca-kalibrasi menunjukkan tingkat kesesuaian yang sangat tinggi terhadap instrumen acuan Termometer Digital. Peningkatan akurasi rata-rata yang signifikan mencapai 99,60% membuktikan bahwa pendekatan kalibrasi matematis ini berhasil meminimalkan nilai error pembacaan secara optimal.

Tabel 5. Kalibrasi Sensor Suhu DS18B20 Tangki 3

No	Sensor Suhu DS18B20 (°C)	Termometer Digital (°C)	Selisih Nilai	Error	Akurasi
1	11.04	11,0	0,04	0.36%	99.64%
2	11.96	12,0	0,04	0.33%	99.67%
3	13.03	13,0	0,03	0.23%	99.77%
4	14.05	14,1	0,05	0.35%	99.65%
5	15.04	15,0	0,04	0.27%	99.73%
6	15.97	16,0	0,03	0.19%	99.81%
7	17.02	17,0	0,02	0.12%	99.88%
8	17.96	18,0	0,04	0.22%	99.78%
9	19.05	19,0	0,05	0.26%	99.74%
10	19.98	20,0	0,02	0.10%	99.90%
Rata-rata				**0.24%**	**99.76%**

Berdasarkan Tabel 5, pembacaan sensor DS18B20 pasca-kalibrasi menunjukkan tingkat kesesuaian yang sangat tinggi terhadap instrumen acuan Termometer Digital. Peningkatan akurasi rata-rata yang signifikan mencapai 99,76% membuktikan bahwa pendekatan kalibrasi matematis ini berhasil meminimalkan nilai error pembacaan secara optimal.

Tabel 6. Kalibrasi Sensor Suhu DS18B20 Tangki 4

No	Sensor Suhu DS18B20 (°C)	Termometer Digital (°C)	Selisih Nilai	Error	Akurasi
1	10.97	11,0	0,03	0.27%	99.73%
2	12.03	12,0	0,03	0.25%	99.75%
3	12.96	13,0	0,04	0.31%	99.69%
4	14.14	14,1	0,04	0.28%	99.72%
5	14.97	15,0	0,03	0.20%	99.80%
6	16.04	16,0	0,04	0.25%	99.75%
7	16.98	17,0	0,02	0.12%	99.88%
8	18.03	18,0	0,03	0.17%	99.83%
9	18.96	19,0	0,04	0.21%	99.79%
10	20.05	20,0	0,05	0.25%	99.75%
Rata-rata				**0.23%**	**99.77%**

Berdasarkan Tabel 6, pembacaan sensor DS18B20 pasca-kalibrasi menunjukkan tingkat kesesuaian yang sangat tinggi terhadap instrumen acuan Termometer Digital. Peningkatan akurasi rata-rata yang signifikan mencapai 99,77% membuktikan bahwa pendekatan kalibrasi matematis ini berhasil meminimalkan nilai error pembacaan secara optimal.

3.2. Kalibrasi Sensor Ultrasonik HCSR-04

Untuk memastikan Sensor Ultrasonik HCSR-04 sesuai dan dapat digunakan sebagai pengukur volume tangki pada penelitian kali ini maka perlu dilakukan kalibrasi terlebih dahulu seperti pada Tabel 5 hingga Tabel 8.

Tabel 7. Kalibrasi Sensor Ultrasonik HCSR-04 Tangki 1

No	Sensor Ultrasonik HCSR-04 (ml)	Gelas Ukur (ml)	Selisih Volume	Error	Akurasi
1	308	300	8	2,67%	97,33%
2	512	500	12	2,40%	97,60%
3	815	800	15	1,88%	98,12%
4	1025	1000	25	2,50%	97,50%
5	1320	1300	20	1,54%	98,46%
6	1515	1500	15	1,00%	99,00%
7	1810	1800	10	0,56%	99,44%
8	2100	2100	0	0,00%	100,00%
Rata-rata				**1,57%**	**98,43%**

Berdasarkan Tabel 7, hasil pembacaan sensor HC-SR04 pasca-kalibrasi menunjukkan tingkat kesesuaian yang sangat tinggi terhadap gelas ukur sebagai instrumen acuan. Capaian akurasi rata-rata yang mencapai 98,43% membuktikan bahwa pendekatan kalibrasi ini berhasil meminimalkan tingkat error pembacaan secara optimal.

Tabel 8 Kalibrasi Sensor Ultrasonik HCSR-04 Tangki 2

No	Sensor Ultrasonik HCSR-04 (ml)	Gelas Ukur (ml)	Selisih Volume	Error	Akurasi
1	295	300	5	1,67%	98,33%
2	490	500	10	2,00%	98,00%
3	788	800	12	1,50%	98,50%
4	980	1000	20	2,00%	98,00%
5	1285	1300	15	1,15%	98,85%
6	1485	1500	15	1,00%	99,00%
7	1790	1800	10	0,56%	99,44%
8	2100	2100	0	0,00%	100,00%
Rata-rata				**1,23%**	**98,77%**

Berdasarkan Tabel 8, hasil pembacaan sensor HC-SR04 pasca-kalibrasi menunjukkan tingkat kesesuaian yang sangat tinggi terhadap gelas ukur sebagai instrumen acuan. Capaian akurasi rata-rata yang mencapai 98,77% membuktikan bahwa pendekatan kalibrasi ini berhasil meminimalkan tingkat error pembacaan secara optimal.

Tabel 9. Kalibrasi Sensor Ultrasonik HCSR-04 Tangki 3

No	Sensor Ultrasonik HCSR-04 (ml)	Gelas Ukur (ml)	Selisih Volume	Error	Akurasi
1	305	300	5	1,67%	98,33%
2	508	500	8	1,60%	98,40%
3	812	800	12	1,50%	98,50%
4	1018	1000	18	1,80%	98,20%
5	1315	1300	15	1,15%	98,85%
6	1510	1500	10	0,67%	99,33%
7	1812	1800	12	0,67%	99,33%
8	2100	2100	0	0,00%	100,00%
Rata-rata				**1,13%**	**98,87%**

Berdasarkan Tabel 9, hasil pembacaan sensor HC-SR04 pasca-kalibrasi menunjukkan tingkat kesesuaian yang sangat tinggi terhadap gelas ukur sebagai instrumen acuan. Capaian akurasi rata-rata yang mencapai 98,87% membuktikan bahwa pendekatan kalibrasi ini berhasil meminimalkan tingkat error pembacaan secara optimal.

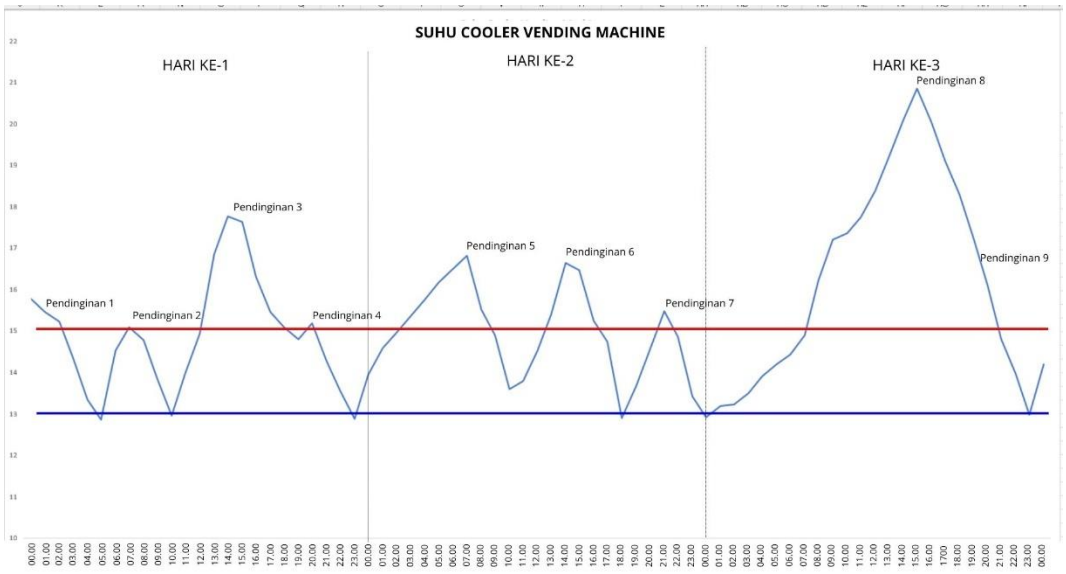
Tabel 10. Kalibrasi Sensor Ultrasonik HCSR-04 Tangki 4

No	Sensor Ultrasonik HCSR-04 (ml)	Gelas Ukur (ml)	Selisih Volume	Error	Akurasi
1	104	100	4	4,00%	96,00%
2	206	200	6	3,00%	97,00%
3	310	300	10	3,33%	96,67%
4	408	400	8	2,00%	98,00%
5	505	500	5	1,00%	99,00%
6	608	600	8	1,33%	98,67%
7	710	700	10	1,43%	98,57%
8	800	800	0	0,00%	100,00%
Rata-rata				**2,01%**	**97,99%**

Berdasarkan Tabel 10, hasil pembacaan sensor HC-SR04 pasca-kalibrasi menunjukkan tingkat kesesuaian yang sangat tinggi terhadap gelas ukur sebagai instrumen acuan. Capaian akurasi rata-rata yang mencapai 97,99% membuktikan bahwa pendekatan kalibrasi ini berhasil meminimalkan tingkat *error* pembacaan secara optimal.

3.3. Pengujian Sensor Suhu DS18B20

Pengujian sensor Suhu dilakukan pada jam operasional Cafe untuk memverifikasi kinerja sensor suhu setelah proses kalibrasi. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.



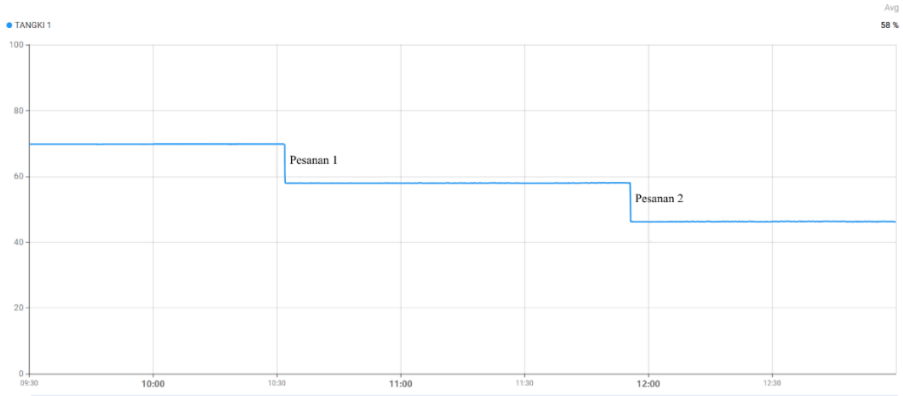
Gambar 5. Grafik Pengujian Suhu *Cooler Vending Machine*

Keterangan
Batas bawah setpoint suhu 13°C
Batas atas setpoint suhu 15°C

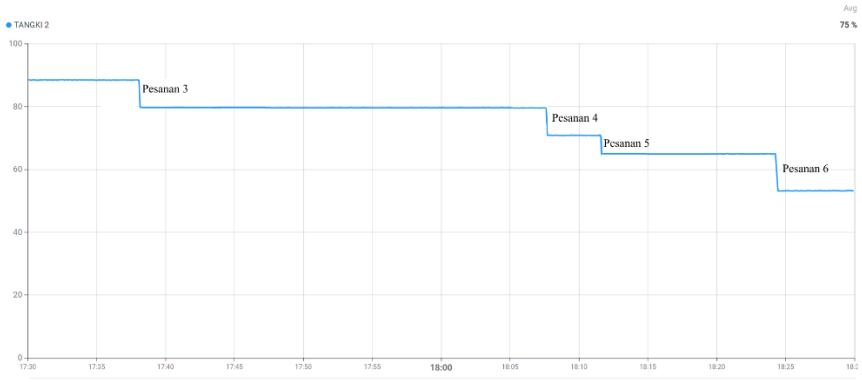
Gambar 5 menunjukkan hasil pengujian kinerja sistem pendingin pada saat Cooler Vending Machine beroperasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa secara keseluruhan, sistem pendingin mampu mempertahankan suhu minuman di dalam rentang setpoint yang ditargetkan, yaitu antara 13°C hingga 15°C. Sistem kendali yang diimplementasikan pada modul Peltier TEC1-12702 berfungsi dengan baik untuk menjaga suhu kesegaran minuman sesuai dengan setpoint tersebut. Selama pengoperasian, diperlukan pendinginan tambahan menggunakan ice pack pada sirkulasi pembuangan sisi panas Peltier secara berkala dan kontinu agar proses pendinginan berlangsung optimal. Berdasarkan Gambar 4, operator akan melakukan proses pendinginan setiap kali mendapat notifikasi suhu berada di atas setpoint 15°C.

3.3. Pengujian Sensor Ultrasonik HCSR-04

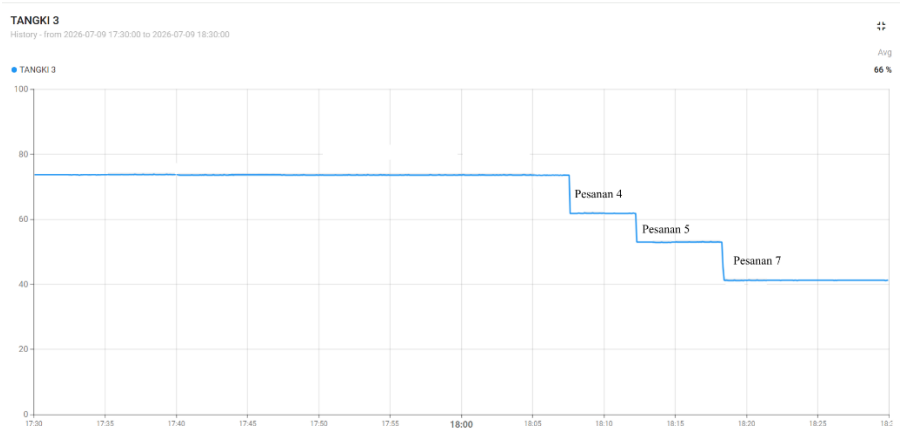
Pengujian sensor Ultrasonik HCSR-04 dilakukan pada jam operasional Cafe untuk memverifikasi kinerja sensor ultrasonik setelah proses kalibrasi. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 6 hingga Gambar 8.



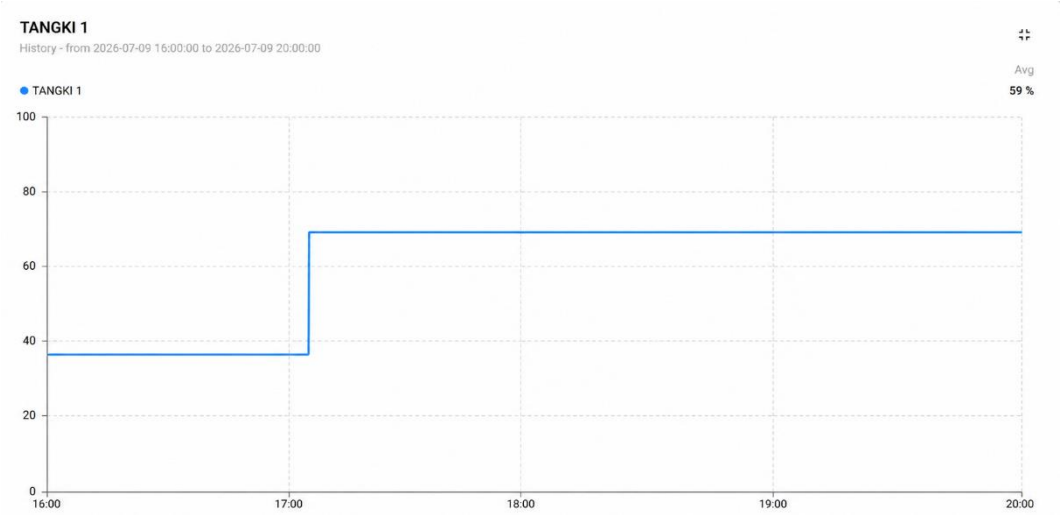
Gambar 6. Gambar grafik ultrasonik tangki 1 (Kopi) saat penyajian ke pelanggan



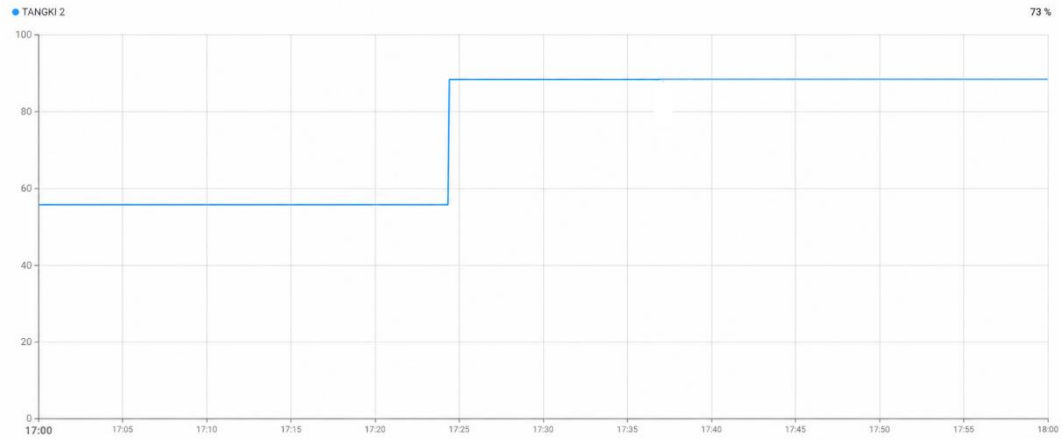
Gambar 7. Gambar grafik ultrasonik tangki 2 (Susu) saat penyajian ke pelanggan



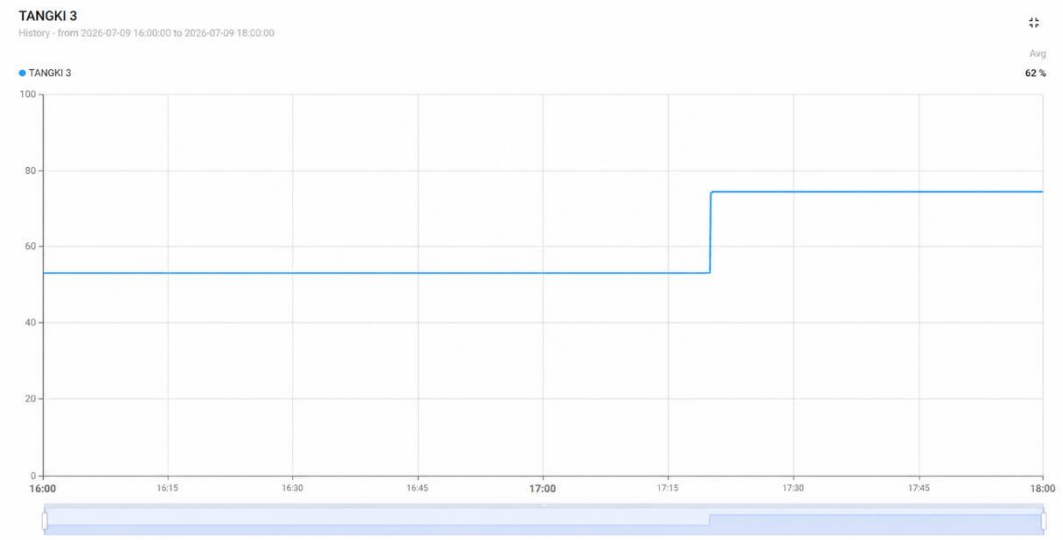
Gambar 8. Gambar grafik ultrasonik tangki 3 (Teh) saat penyajian ke pelanggan



Gambar 9. Gambar grafik ultrasonik tangki 1 (Kopi) saat pengisian manual



Gambar 10. Gambar grafik ultrasonik tangki 2 (Susu) saat pengisian manual



Gambar 11. Gambar grafik ultrasonik tangki 3 (Teh) saat pengisian manual

Pengujian operasional Cooler Vending Machine di Cafe Teko Play pada 8–10 Juli 2026 memantau fluktuasi volume cairan secara real-time menggunakan sensor ultrasonik. Secara umum, sistem menunjukkan tingkat presisi tinggi pada penyajian menu tunggal, namun mengalami fluktuasi pada pelayanan menu campuran. Evaluasi akurasi pada masing-masing tangki adalah sebagai berikut: Akurasi pada Menu Tunggal (Konsisten): Pelayanan menu murni pada Tangki 1 (Kopi), Tangki 2 (Susu), dan Tangki 3 (Teh) menunjukkan hasil yang sangat stabil. Rata-rata volume aktual yang dikeluarkan adalah 84 ml per gelas dari target setpoint 80 ml. Hal ini menunjukkan selisih pembacaan (error) yang sangat rendah, yakni hanya 4 ml per porsi atau ekuivalen dengan tingkat kesalahan sebesar 0,19%. Akurasi pada Menu Campuran (Fluktuatif): Penurunan akurasi terjadi saat mesin melayani menu kombinasi (seperti teh susu) yang mengaktifkan Tangki 2 dan Tangki 3 secara bersamaan. Pada Tangki 2, volume keluaran berfluktuasi di rentang 63 ml hingga 94,5 ml (error 0,69%–0,8%). Sementara itu, pada Tangki 3, pengeluaran bervariasi antara 94,5 ml hingga 126 ml (error 0,69%–2,1% dari target).Pengujian sistem sensor ultrasonik mampu bekerja dengan stabilitas dan presisi yang tinggi pada penyajian menu murni (rata-rata selisih 4 ml). Namun, terdapat penurunan akurasi yang memicu fluktuasi takaran ketika pompa dan sensor bekerja berbarengan untuk melayani menu campuran.

3.4. Pengujian Aktuator

Pengujian pada tahap ini difokuskan untuk mengevaluasi kinerja instrumen masukan (input), yaitu memastikan bahwa mikrokontroler ESP32 menerima data yang valid dari lingkungan fisik sebelum mengeksekusi mesin.

Tabel 11. Pengujian Pengendalian Relay (Peltier dan Kipas)

No	Tanggal	Pukul	Sensor Suhu DS18B20 (°C)	Keterangan (Status Relay)
1	8 Juli 2026	00.00	15.78	Nyala
2	8 Juli 2026	05.00	12.96	Mati
3	8 Juli 2026	07.00	15.10	Nyala
4	8 Juli 2026	10.00	12.95	Mati
5	8 Juli 2026	12.00	15.03	Nyala
6	8 Juli 2026	23.00	12.98	Mati
7	9 Juli 2026	03.00	15.36	Nyala
8	9 Juli 2026	18.00	12.96	Mati
9	9 Juli 2026	21.00	15.47	Nyala
10	10 Juli 2026	00.00	12.95	Mati
11	10 Juli 2026	07.00	15.02	Nyala
12	10 Juli 2026	23.00	12.98	Mati

Pengujian awal dilakukan untuk mengevaluasi performa sistem pendingin termoelektrik Peltier TEC1-12702 dalam menjaga kesegaran minuman menggunakan metode kontrol On/Off berbasis Solid State Relay (SSR). Sistem dirancang untuk mengalirkan tegangan penuh ke modul Peltier saat suhu berada di atas batas ambang atas 15°C, dan otomatis memutus arus saat suhu menyentuh batas ambang bawah 13°C.

3.5. Pengujian LED Maintenance

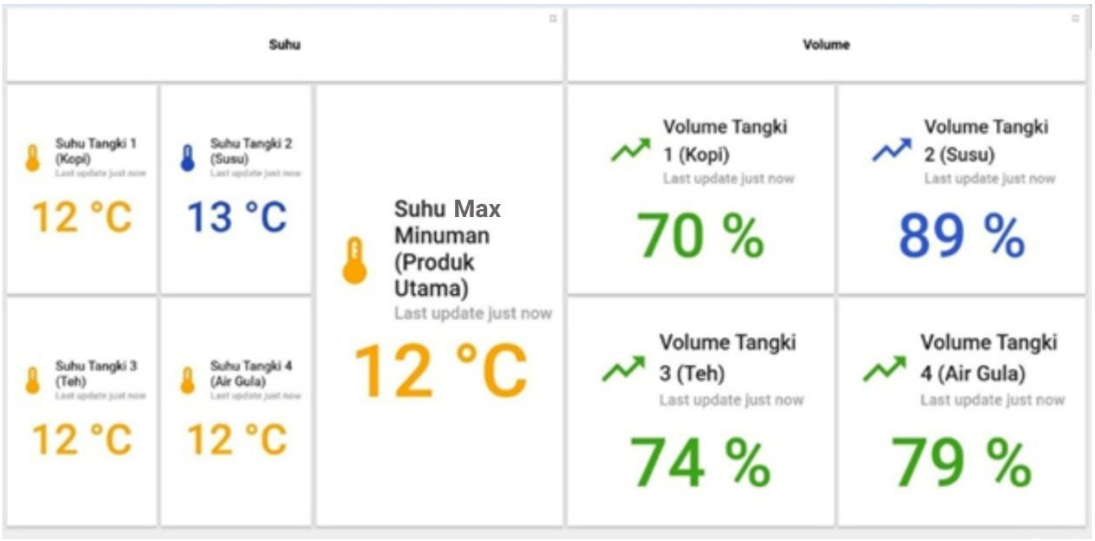
Pengujian fitur keamanan sistem dilakukan untuk memvalidasi algoritma pewaktu (timer alert) pada Cooler Vending Machine melalui indikator LED Maintenance. Berdasarkan rancangan logika program, LED Maintenance berfungsi sebagai sistem peringatan dini (early warning system) yang akan aktif apabila dalam waktu 10 menit sistem pendingin diatas suhu 15°C, dan otomatis mati jika dibawah 15°C.

Tabel 12. Pengujian LED Maintenance

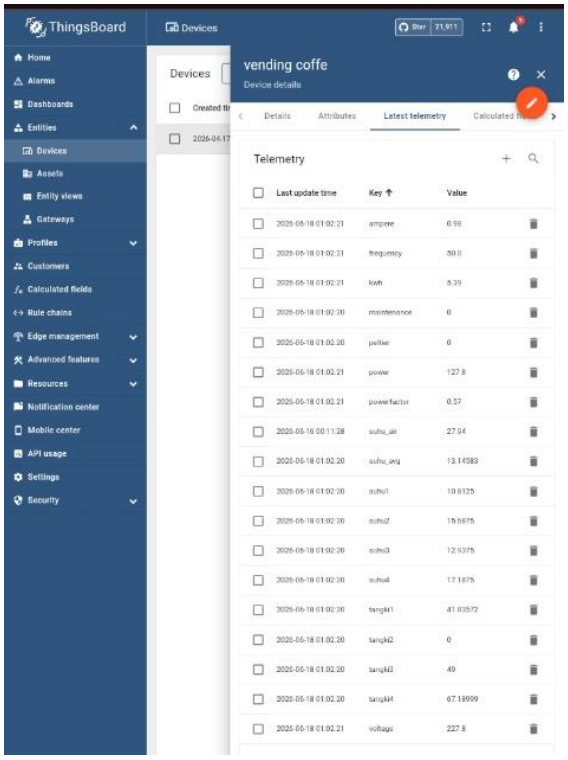
No	Tanggal	Pukul	Sensor Suhu DS18B20 (°C)	Keterangan (LED Maintenance)
1	8 Juli 2026	00.00	15.78	Nyala
2	8 Juli 2026	03.00	14.36	Mati
3	8 Juli 2026	07.00	15.10	Nyala
4	8 Juli 2026	08.00	14.79	Mati
5	8 Juli 2026	12.00	15.03	Nyala
6	8 Juli 2026	21.00	14.28	Mati
7	9 Juli 2026	03.00	15.36	Nyala
8	9 Juli 2026	09.00	14.9	Mati
9	9 Juli 2026	13.00	15.4	Nyala
10	9 Juli 2026	17.00	14.75	Mati
11	9 Juli 2026	21.00	15.47	Nyala
12	9 Juli 2026	22.00	14.85	Mati
13	10 Juli 2026	07.00	15.02	Nyala
14	10 Juli 2026	21.00	14.8	Mati

3.6. Pengujian Sistem Monitoring

Pengujian sistem monitoring dilakukan untuk memverifikasi kemampuan sistem dalam menampilkan data suhu dan volume secara real-time (memastikan pembaruan data berjalan sesuai rancangan).



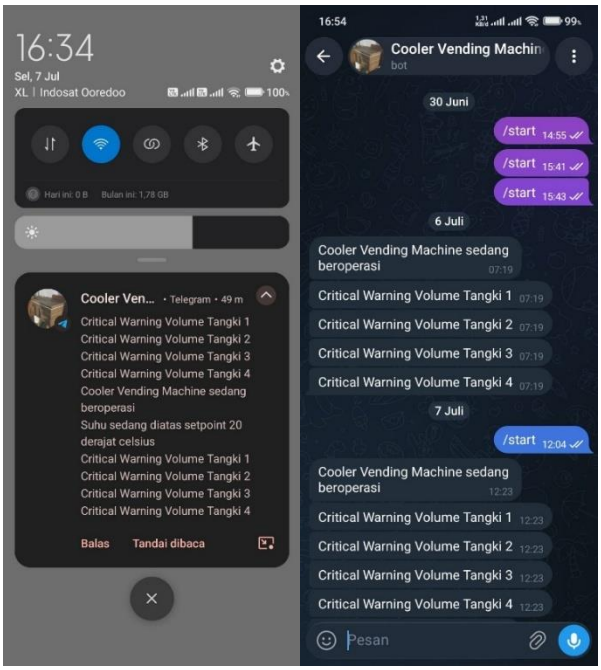
Gambar 12. Desain Tampilan Monitoring



Gambar 13. Tampilan Latest Telemetry

Pengujian sistem monitoring dilakukan untuk memverifikasi kemampuan sistem dalam mengintegrasikan proses akuisisi data sensor dan menampilkan parameter fisik secara real-time. Keberhasilan aspek telemetri ini divalidasi melalui visualisasi data pada antarmuka dashboard ThingsBoard yang ditunjukkan pada Gambar 12. Secara keseluruhan, interkoneksi antarkomponen, mulai dari pembacaan sensor oleh mikrokontroler ESP32, pengiriman data melalui protokol komunikasi IoT, hingga visualisasi pada platform Thingsboard, telah berjalan sesuai dengan rancangan sistem.

3.7. Pengujian Notifikasi pada Aplikasi Telegram



Gambar 14. Notifikasi pada Aplikasi Telegram

Berdasarkan hasil pengujian, sistem pengiriman notifikasi ke aplikasi Telegram telah berhasil diimplementasikan dengan rincian sebagai berikut:
1.Notifikasi "Cooler Vending Machine sedang beroperasi": Dikirimkan ketika ESP32 dalam keadaan aktif atau baru mulai dinyalakan.
2.Notifikasi "Early Warning, 15°C": Dikirimkan jika suhu Cooler Vending Machine melebihi batas (setpoint) yang ditentukan (15°C). Notifikasi ini mengindikasikan bahwa sistem pendingin memerlukan pemeliharaan (maintenance).
3.Notifikasi "Critical Warning, Suhu diatas 20°C, bahaya untuk produk susu". Dikirimkan jika suhu Cooler Vending Machine lebih dari 20°C. Notifikasi ini merupakan notifikasi peringatan kritis jika terdapat kelalaian operator dalam maintenance sistem pendinginan. Dalam kondisi ini operator harus segera mungkin maintenance sistem pendinginan, karena bahaya untuk produk susu.
4.Notifikasi "Critical Warning Volume Tangki 1, 2, 3, dan 4": Dikirimkan jika volume tangki berada di bawah 20%, yang menandakan bahwa produk hampir habis dan perlu segera diisi ulang.
5.Notifikasi "Sudah 3 hari produk susu disimpan, dikhawatirkan produk susu mulai basi" dikirimkan jika sudah 3 hari menyimpan susu, yang menandakan prosuk susu harus segera diganti supaya tidak menimbulkan masalah ketika disajikan kepada konsumen.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem pada Cooler Vending Machine di Cafe Teko Play, dapat disimpulkan bahwa sistem kontrol suhu otomatis berhasil direalisasikan menggunakan mikrokontroler ESP32 dan modul termoelektrik Peltier TEC1-12702. Pengendalian suhu pada sistem ini beroperasi menggunakan pendekatan kontrol PID guna mempertahankan suhu secara presisi. Didukung oleh sensor suhu DS18B20 dengan tingkat akurasi 99,7%, sistem terbukti efektif menjaga kestabilan suhu kesegaran keempat tangki minuman (kopi, susu, teh, dan air gula) pada setpoint 13°C–15°C, meskipun terdapat pengaruh panas dari lingkungan eksternal. Selain itu, sistem pemantauan terintegrasi dengan baik secara real-time melalui dashboard ThingsBoard. Pemantauan ini memanfaatkan keandalan sensor suhu dan sensor ultrasonik HC-SR04 (akurasi 98,5%) untuk membaca data kapasitas cairan pada tangki (2.100 mL dan 800 mL) secara stabil di berbagai kondisi, baik saat operasi normal, isi ulang, maupun transaksi. Guna menjamin kualitas operasional dan produk yang disajikan, sistem ini juga dilengkapi dengan indikator maintenance dan peringatan dini berbasis aktivasi LED serta notifikasi Telegram. Sistem notifikasi multidimensi tersebut secara presisi mengirimkan

peringatan pada lima kondisi: status awal operasi mesin, early warning (suhu >15°C), critical warning (suhu >20°C), reorder warning (volume tangki <20%), serta batas maksimal masa simpan produk susu (3 hari).

5. DAFTAR PUSTAKA

[1] Bellumori, M. *et al.* (2021) "*Effects of different stabilization techniques on the shelf life of Cold brew coffee: Chemical composition, flavor profile and microbiological analysis*," LWT, 142(February). Available at: https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111043.

[2] Lott, T.T., Wiedmann, M. and Martin, N.H. (2022) "*Shelf-life storage temperature has a considerably larger effect than high-temperature, short-time pasteurization temperature on the growth of spore-forming bacteria in fluid milk*," Journal of Dairy Science, 106(6), pp. 3838–3855. Available at: https://doi.org/10.3168/jds.2022-22832.

[3] Yeo, H. *et al.* (2024) "*Effects of Pulsed Electric Field Pretreatment on Black Tea Processing and Its Impact on Cold-Brewed Tea*," *Foods*, 13(1), pp. 1–13. Available at: https://doi.org/10.3390/foods13010164.

[4] Kurniasetiawati Annisa Syafitri, B.Y.P. (2024) "*COOLING PERFORMANCE POTENTIAL OF TEC1-12710 AND TEC1-12715 SR THERMOELECTRIC MODULES WITH HOT SIDE COOLING OPTIMIZATION METHODS USING SEVERAL TYPES OF HEAT EXCHANGERS*." Available at: DOI:10.53893/austenit.v16i2.9470

[5] Nurul Achmadiah, M., Yulianto and Amal, A. ikhlasul (2023) "Perancangan *Smart Food Box* Menggunakan Modul Termoelektrik Peltier Berbasis *Internet of Things* (IoT)," *Jurnal Elektronika dan Otomasi Industri*, 10(3), pp. 292–299. Available at: https://doi.org/10.33795/elkolind.v10i3.4398.

[6] Chairawati B.A , Priyadi B, S. (2021) "Pengkondisian Level dan Suhu Tangki Minuman pada *Eco Vending Machine*,". Jurnal Elkolind Volume 8, Nomor 2, Juli 2021 pp. 163–169. Available at: https://doi.org/DOI: http://dx.doi.org/10.33795/elkolind.v8i2.245.

[7] Markiano, H. (2025) "PERANCANGAN DAN EVALUASI SISTEM PENDINGIN MINI BUAH DAN SAYURAN BERBASIS SENSOR DS18B20 DAN DHT11," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 13(3). Available at: https://doi.org/10.23960/jitet.v13i3.6930.

[8] Bilqis Addieny Salsabilah , Adhima Adhamatika, Dimas Triardianto , dan Destiana Adinda Putri dan Sunrixon Carmando Yuansah . Pengujian Akurasi Sensor Ultrasonik HC-SR04 dalam Mengukur Jarak Suatu Benda.https://doi.org/10.25047/nacia.v2i1.236. 10.25047/nacia.v2i1.236

[9] Sedayu, B. P. A. (2017). Aplikasi Pendingin Elektrik TEC1-12706 dengan Water Cooling pada Cooler Box Semikonduktor. Jurnal Rekayasa Mesin, Universitas Negeri Surabaya (UNESA).

[10] Tetteh-abaku, S.Y. and Gafrey, C.K. (2025) "*Design of a Portable and Low-Cost Power Supply for Laboratory Projects Using the Switch-Mode Method*," 3(05), pp. 125–163. Available at: https://doi.org/10.63002/asrp.305.831.

[11] Rachman J.A, Jumiyatun, Dewi.S. (2020) "RANCANG BANGUN ALAT PENYAMBUNG DAN PEMUTUS SUPLAI LISTRIK DENGAN MENGGUNAKAN RFID (RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION) DAN SMS GATEWAY BERBASIS ARDUINO," p. Vol 10, No. 1, Maret 2020 26-31. Available at: https://doi.org/https://doi.org/10.54757/fs.v10i1.53.

[12] Medina, J. *et al.* (2024) "*Design and Construction of a Controlled Solid-State Relay with Variable Duty Ratio for DOMOTIC Applications*," *Engineering Proceedings*, 77(1). Available at: https://doi.org/10.3390/engproc2024077014.

[13] Al Bahar A.K. Ashfahani F.A (2021) "RANCANG BANGUN ALAT HAND SANITIZER OTOMATIS MENGGUNAKAN ARDUINO UNO R3 ATMEGA 328 DAN SENSOR INFRARED," p. Jurnal Ilmiah Elektrokrisna Vol 9 No.2 Juli 2021 149-161. Available at: https://jurnalteknik.unkris.ac.id/index.php/jie/article/view/133/121.

[14] Sutina, I Wayan. Winarta, A. I Nyoman Agus A. S. (2025) "PERFORMANCE ANALYSIS OF THERMOELECTRIC COOLER BOX WITH WATER COOLING BLOCK (WCB) AND HEAT SINK FAN," *LOGIC : Jurnal Rancang Bangun dan Teknologi*, 25(2), pp. 93–99. Available at: https://doi.org/10.31940/logic.v25i2.93-99.

[15] Puspita N.P, Iqbal M, Rasyid R, Y.M. (2025) "Desain dan Implementasi Sistem Pendingin

Berbasis Peltier TEC 12706 dengan Pemantauan Jarak Jauh Melalui Aplikasi Blynk pada Smartphone," p. Vol. 14, No. 1, Januari 2025, hal. 8–14. Available at: https://doi.org/https://doi.org/10.25077/jfu.14.1.8-14.2025.

[16] Tariza Fairuz *et al.* (2025) "*Effectiveness of Using Ice Gel Packs as an Alternative Coolant*," *Indonesian Journal of Chemical Science and Technology (IJCST)*, 8(1), pp. 64–70. Available at: https://doi.org/10.24114/ijcst.v8i1.68670.

[17] Munnik H, Y.D.B.Y. (2022) "PEMANFAATAN PELTIER UNTUK COOLER BOX MINI," *Sports Culture*, 15(1), pp. 72–86. Available at: https://doi.org/https://doi.org/10.35968/jti.v11i1.882.

[18] Diakses dari https://www.omron.co.id/products/category/relays/solid-state-relays/index.html.

[19] Diakses dari https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32.

[20] Prathama, G.H., Andaresta, D. and Darmaastawan, K. (2021) "*Instalasi Framework IoT Berbasis Platform Thingsboard di Ubuntu Server*," *TIERS Information Technology Journal*, 2(2), pp. 1–9. Available at: https://doi.org/10.38043/tiers.v2i2.3329.

[21] Rahayu A (2025) "Metode Penelitian dan Pengembangan (R&D) : Pengertian, Jenis dan Tahapan," p. Vol. 4 No. 3 (Juli 2025) 459-470. Available at: https://doi.org/https://doi.org/10.54259/diajar.v4i3.5092.

[22] Kuswanto, H., Triyanto, A (2024) "RANCANG BANGUN SISTEM THERMOELECTRIC COOLER MENJADI PENDINGIN RUANGAN DENGAN DAMPAK TERHADAP PENGGUNAAN ENERGI" Vol. 12 No. 3, pISSN: 2303-0577 eISSN: 2830-7062. Available at: https://doi.org/10.23960/jitet.v12i3.4686. \

[23] Hakim, M.F.A , Putra, M.A , Nurhilal, O (2025). "Comparing the Effect of Using DC Fans and Heatsinks As Cooling Systems on Photovoltaic Efficiency" TURBO Vol. 12 No. 02. 2023. Available at: http://ojs.ummetro.ac.id/index.php/turbo.

[24] Peck Huey Ng, Eric Rudolphe Sai Hong Chan, Muhammad Najmulfirdaus Abdul Rahman, Muhammad Faisal Zolkifli, Nur Nabilah Mohd Rosli , Mohd Nazri Mahmud (2022). "Medical Supplies Vending Machine" JOURNAL OF ELECTRONIC VOLTAGE AND APPLICATION VOL. 3 NO. 2 (2022) 1-14. Available at: https://doi.org/10.30880/jeva.2022.03.02.001