

Studi Perbandingan Kontrol PID dan Metode *ON-OFF* Pada Sistem Kotak Pendingin Menggunakan *Thermoelectric*

Mawar Sharon Pua, A. Haris J. Ontowirjo, Pinrolinvic D.K. Manembu,
Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sam Ratulangi Manado, Jl. Kampus Bahu, 95115, Indonesia
mawarpua023@student.unsrat.ac.id, aharisjo@unsrat.ac.id, pmanembu@unsrat.ac.id

Abstract - Cooling system is a human need in preservation such as preserving food, drinks, vegetables and one of them is also for preserving fish caught by fishermen. The use of low temperatures around 0°C after a dead fish can extend the lasting power of fish. Fish spoilage by bacteria can be inhibited with fish storage at 0°C or lower. Thermoelectric is a cooling element that can produce a temperature difference or when an electric current is applied, one side will be cold and the other side will be hot. By designing a cooling box system using a thermoelectric or peltier that applies PID control and the method on-off, it is possible to obtain a temperature or temperature according to the value set point. Based on the test results with the use of three thermoelectric or peltier type TEC-1 12706, if the hot temperature T2 is around 35°C the cold temperature T1 is at around 0°C. In the process of testing for 1 hour using PID control system with a cooling box 6 liter box volume can reach temperature 0°C within 20 minutes is at a temperature of 0,81°C, while the process of testing for 1 hour using the on-off, the system can reach temperature around 0°C within 15 minutes of being at a temperature of 0,63°C.

Keywords: *Thermoelectric, Temperature, PID, On-off.*

Abstrak - Sistem pendinginan adalah kebutuhan manusia dalam pengawetan seperti pada pengawetan makanan, minuman, sayur-sayuran dan salah satunya juga adalah untuk pengawetan ikan hasil tangkap nelayan. Penggunaan suhu rendah sekitar 0°C setelah ikan mati dapat memperpanjang daya awet ikan. Pembusukan ikan oleh bakteri dapat dihambat dengan penyimpanan ikan pada suhu 0°C atau lebih rendah lagi. *Thermoelectric* merupakan elemen pendingin yang dapat menghasilkan perbedaan suhu atau temperatur, salah satu sisi akan menjadi dingin dan sisi lain akan menjadi panas. Dengan perancangan sistem kotak pendingin menggunakan *thermoelectric* atau peltier yang menerapkan kontrol PID dan metode on-off dapat memperoleh suhu atau temperatur sesuai dengan nilai *set point*. Berdasarkan hasil pengujian dengan penggunaan tiga buah *thermoelectric* atau peltier berjenis TEC-1 12706, jika temperatur panas T2 berada sekitar 35°C maka temperatur dingin T1 berada pada sekitar 0°C. Dalam proses pengujian selama 1 jam menggunakan kontrol PID, sistem kotak pendingin

dengan volume kotak 6 liter dapat mencapai suhu atau temperatur dingin sekitar 0°C dalam waktu 20 menit berada pada suhu 0,81°C, sedangkan proses pengujian selama 1 jam menggunakan metode *on-off*, sistem kotak pendingin dapat mencapai suhu atau temperatur dingin sekitar 0°C dalam waktu 15 menit berada pada suhu 0,63°C.

Kata Kunci : *Thermoelectric, Suhu, PID, On-off.*

I. PENDAHULUAN

Sistem pendinginan adalah kebutuhan manusia dalam pengawetan seperti pada pengawetan makanan, minuman, sayur-sayuran dan salah satunya juga adalah untuk pengawetan ikan hasil tangkap nelayan.

Ikan merupakan bahan pangan yang mudah rusak apabila setelah penangkapan tidak mendapat penanganan yang benar. Penanganan ikan dimulai sejak ikan ditangkap dan berada di atas kapal atau pada saat ikan didaratkan. Apabila tidak mendapat penanganan maka mutu ikan turun. Menurut (Suprayitno, 2020), ada beberapa faktor yang menentukan kecepatan penurunan mutu ikan, diantaranya suhu penyimpanan. Menurut Supandi dan Sukamto dalam (Sibirian et al., 2012), pembusukan ikan oleh bakteri dapat dihambat dengan penyimpanan ikan pada suhu 0°C atau lebih rendah lagi. Penanganan ikan hasil tangkapan biasanya diletakkan pada kotak styrofoam dengan penambahan es batu di dalamnya. Penambahan es batu tersebut agar suhu di dalam kotak styrofoam berubah menjadi suhu dingin dan suhunya dapat dipertahankan guna menjaga mutu ikan. Namun, penggunaan es batu bagi para nelayan tidak efektif karena ketersediaannya yang semakin terbatas. Dengan penanganan yang umum dilakukan yaitu menggunakan es batu untuk menghambat penurunan mutu ikan saat melaut di anggap belum memenuhi kebutuhan nelayan karena durasi melaut tergantung

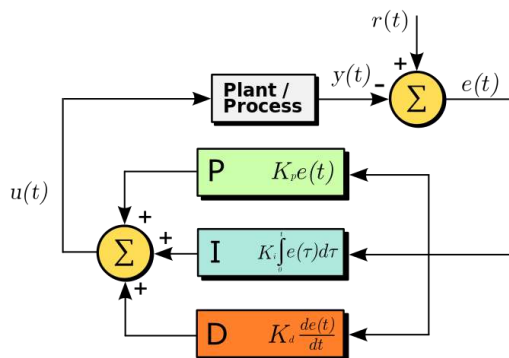
pada ketersediaan es batu tersebut, sehingga mengakibatkan para nelayan tidak memungkinkan untuk melanjutkan aktivitas melaut apabila ketersediaan es batu habis atau mencair suhu akan menjadi normal dan tidak tersedia lagi ruang pendinginan untuk menyimpan ikan.

Oleh karena itu, dengan pembuatan sistem kotak pendingin menggunakan thermoelectric yang akan menerapkan metode kontrol PID dan metode on-off untuk menstabilkan suhu didalam ruang pendinginan diharapkan dapat membantu para nelayan dalam mengatasi penanganan ikan hasil tangkapan. Peran dari kontrol PID pada sistem kotak pendingin ini yaitu untuk mengatur suhu pendinginan sesuai dengan referensi suhu yang diinginkan sehingga memperoleh suhu pendinginan yang stabil. Dengan menggunakan thermoelectric dan menerapkan metode kontrol PID dan metode on-off diharapkan dapat mencapai suhu pendinginan 0°C agar dapat digunakan untuk menghambat pembusukan ikan dan dapat memperpanjang masa simpan ikan.

A. Teori Pendukung

1) Kontrol PID (Proportional, Integral, Derivative)

Sistem kontrol PID merupakan sistem kontrol loop tertutup yang cukup sederhana dan memiliki performa yang bagus. Sistem kontrol PID tidak dapat bekerja dengan baik apabila terjadi ketidakpastian dan ketidaklinieran pada sistem (Sampurno et al., 2016).



Gambar 1.1 Blok Diagram Kontrol PID

Sistem kontrol PID terdiri dari tiga pengontrol, yaitu P (Proportional), D (Derivatif) dan I (Integral), setiap pengontrol memiliki kelebihan dan kekurangan yang dapat menutupi kekurangan dan menonjolkan kelebihan dari masing-masing pengontrol. Dalam perancangan sistem kontrol PID perlu dilakukan pengaturan parameter kP, kI, dan kD untuk menghasilkan respon sinyal keluaran sistem

terhadap masukan sesuai dengan nilai yang diinginkan. Adapun persamaan PID dapat ditulis sebagai berikut :

$$mv(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right)$$

mv(t) = Output dari pengontrol PID atau Manipulated Variable

Kp = Konstanta Proporsional

Ti = Konstanta Integral

Td = Konstanta Derivatif

e(t) = Error (Selisih antara nilai masukan dengan nilai keluaran)

Dalam pengujian suatu sistem yang menggunakan pengontrol PID biasanya terdapat selisih antara masukan dan keluaran yang disebut dengan error atau dapat dirumuskan dengan :

$$E = \text{nilai referensi} - \text{nilai aktual}$$

2) Metode Tuning Manual

Tuning manual merupakan penyetelan manual untuk menentukan nilai parameter kontrol dengan cara menebak mana yang mungkin mendekati nilai terbaik. Pengaturan PID dilakukan langkah awal memberikan nilai nol pada konstanta I dan D dan meningkatkan konstanta P hingga plant bergerak, selanjutnya menambahkan konstanta I hingga plant bergerak mendekati atau melewati set point. Langkah terakhir menambahkan konstanta D sampai menjangkau nilai set point tanpa mengalami overshoot. Setelah memberikan nilai awal dari parameter kontrol yang ditentukan, kemudian dapat melihat keluaran sistem dan mengubah nilai parameter awal untuk mendapatkan keluaran sistem yang diinginkan.

3) Kontrol ON-OFF

Sistem kontrol on-off adalah sistem kontrol yang berubah secara bergantian antara dua kondisi. Secara matematis sistem kontrol on-off dinyatakan sebagai berikut.

$$u(t) = U_1 \text{ jika } e(t) < 0 \\ = U_2 \text{ jika } e(t) > 0$$

Dimana :

u(t) = Keluaran pengontrol

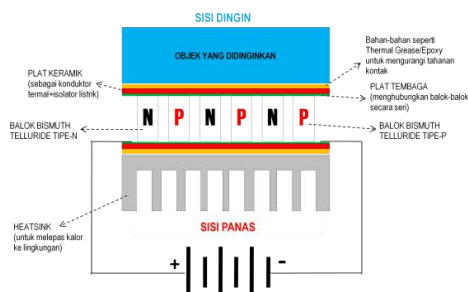
U1 = Harga maksimum dari u(t) kondisi on

U2 = Harga minimum dari u(t) kondisi off

4) Termoelektrik

Termoelektrik adalah suatu perangkat yang dapat mengubah energi kalor (perbedaan temperatur) menjadi energi listrik secara langsung. Selain itu, termoelektrik juga dapat mengkonversikan energi

listrik menjadi proses pompa kalor/refrigerasi. Teknologi termoelektrik adalah teknologi yang bekerja dengan mengkonversi energi panas menjadi listrik secara langsung (generator termoelektrik), atau sebaliknya, dari listrik menghasilkan dingin (pendingin termoelektrik).



Gambar 1.2 Susunan Dasar Sistem Termoelektrik
Sumber : Aziz, A., Subroto, J., & Silpana, V. (2017)

5) Efek Seebeck

Fenomena termoelektrik pertama kali ditemukan tahun 1821 oleh ilmuwan Jerman, Thomas Johann Seebeck. Pada penemuannya, jika ada dua bahan yang berbeda yang kemudian kedua ujungnya disambungkan satu sama lain maka akan terjadi dua sambungan dalam satu loop. Jika terjadi perbedaan temperatur di antara kedua sambungan ini, maka akan terjadi arus listrik. Efek Seebeck dirumuskan dalam persamaan :

$$E = \alpha (T_1 - T_0)$$

Dimana :

E = Tegangan (Volt)

α = Koefisien Seebeck (V/K)

T₀ = Temperatur Cold junction atau sambungan dingin (K)

T₁ = Temperatur Hot junction atau sambungan panas (K)

6) Efek Peltier

Efek peltier ditemukan oleh Jean Peltier yang merupakan fisikawan asal Prancis. Peltier menemukan bahwa arus listrik dapat memproduksi perbedaan temperatur pada ujung pertemuan logam yang berbeda. Jika arus listrik dialirkan pada dua konduktor yang berbeda, titik sambungan kedua logam tersebut yang satu akan memancarkan panas dan titik sambungan lainnya akan menyerap panas. Penyerapan panas akan sebanding dengan daya listrik yang diberikan pada modul peltier. Dari percobaan peltier

diketahui bahwa perpindahan panas sebanding terhadap arus dan mempunyai persamaan :

$$Q = \Phi \cdot I$$

Dimana :

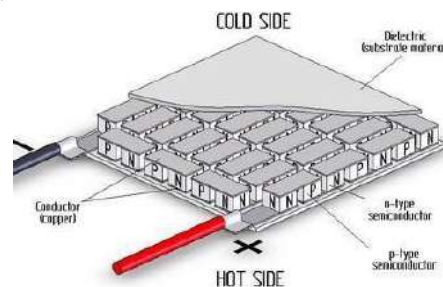
Q = Panas efek peltier (W)

Φ = Koefisien peltier (V)

I = Arus listrik (A)

7) Elemen Peltier

Elemen peltier atau pendingin termoelektrik (thermoelectric cooler) adalah alat yang dapat menghasilkan perbedaan temperatur apabila diberikan tegangan DC 12 Volt pada kedua kutubnya yang bermaterial semikonduktor. Elemen peltier ini biasanya berbentuk plat tipis dan yang paling umum didapatkan berukuran 40 mm x 40 mm, memiliki ketebalan 3 mm dan terdapat dua kabel merah dan hitam.



Gambar 1.3 Elemen Peltier

Perinsip kerja dari elemen peltier atau pendingin termoelektrik ini bekerja berdasarkan efek peltier, apabila dialirkan arus searah ke elemen peltier, maka salah satu sisi akan menjadi dingin (penyerapan panas) dan sisi lainnya akan menjadi panas (pelepasan panas).

8) Perpindahan Panas

Perpindahan panas (Heat Transfer) merupakan perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan temperatur di antara benda atau material. Energi yang berpindah dinamakan kalor atau panas. Pada sistem pendingin *thermoelectric* peristiwa perpindahan panas terjadi di dalam ruangan pendingin atau pada saat alat di uji. Perpindahan panas yang terjadi di dalam ruangan tersebut dinamakan dengan perpindahan panas konveksi.

a) Perpindahan Panas Konveksi

Apabila suatu benda dapat berhubungan (kontak) dengan fluida yang berbeda suhunya, akan terjadi perpindahan panas secara Konveksi, dari benda bersuhu rendah ke fluida bersuhu tinggi atau

sebaliknya. Udara dingin yang dihasilkan *thermoelectric* akan berpindah ke ruangan atau ada aliran fluida yaitu udara yang bergerak dari *thermoelectric* ke ruangan. Untuk menghitung laju perpindahan panas konveksi dirumuskan sebagai berikut.

$$q = h \cdot A \cdot \Delta T$$

Dimana :

- q = Daya keluaran (Watt)
 h = Koefisien transfer panas konveksi (W/m²K)
 A = Luas permukaan (m²)
 ΔT = Selisih temperatur

Koefisien perpindahan panas konveksi h dapat ditentukan sesuai dengan gambar berikut.

Tabel. Koefisien Transefer Panas

Typical values of heat transfer coefficient

Flow type	(W/m ² K)
Forced convection: low speed flow of air over a surface	10
Forced convection: moderate speed flow of air over a surface	100
Forced convection: moderate speed cross- flow of air over a cylinder	200
Forced convection: moderate flow of water in a pipe	3000
Forced Convection: molten metals	2000 to 45000
Forced convection: boiling water in a pipe	50,000
Forced Convection - water and liquids	50 to 10000
Free Convection - gases and dry vapors	5 to 37
Free Convection - water and liquids	50 to 3000
Air	10 to 100
Free convection: vertical plate in air with 30°C temperature difference	5
Boiling Water	3,000 to 100,000
Water fowing in tubes	500 to 1200
Condensing Water Vapor	5,0 - 100,0
Water in free convection	100 to 1200
Oil in free convection	50 to 350
Gas flow on tubes and between tubes	10 to 350

9) Daya Listrik

Daya listrik didefinisikan sebagai laju hantaran muatan listrik dalam sirkuit listrik. Satuan daya listrik dalam SI adalah Watt, yang didefinisikan sebagai perubahan energi terhadap waktu dalam bentuk tegangan dan arus. Daya dalam watt diserap oleh suatu beban pada setiap saat yang sama dengan jatuh tegangan pada beban tersebut (Volt) dikalikan dengan arus yang mengalir lewat beban (Ampere).

Daya listrik biasanya dihitung dengan rumus :

$$P = V \cdot I$$

Dimana :

- P = Daya Listrik (Watt)
 V = Tegangan listrik (Volt)
 I = Arus Listrik (Ampere)

10) Efisiensi Termal

Efisiensi termal adalah ukuran tanpa dimensi yang menunjukkan performa peralatan termal. Efisiensi termal merupakan perbandingan antara daya keluaran dengan daya masukan atau dapat ditulis dengan persamaan berikut :

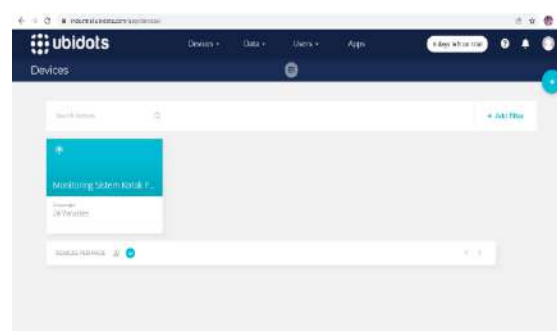
$$\eta_{\text{termal}} = \frac{\text{Berapa Daya yang didapatkan}}{\text{Berapa Daya yang dimasukan}} \times 100\%$$

Dimana :

η_{termal} = efisiensi termal

11) Platform IoT Ubidots

Ubidots menawarkan platform bagi pengembang untuk mengumpulkan data sensor dengan mudah dan mengubahnya menjadi informasi yang dapat ditindak-lanjuti. Platform Ubidots digunakan untuk mengirim data ke cloud dari perangkat apa pun yang terhubung ke internet. Selain itu, dapat menyesuaikan tindakan dan peringatan berdasarkan data waktu nyata dan membuka nilai dari data sensor menggunakan alat visual. Ubidots menawarkan fungsi API yang memungkinkan sensor membaca dan menulis data ke sumber daya yang tersedia seperti, sumber data, variabel, nilai, peristiwa, dan data analitik. API mendukung HTTP dan HTTPS, diperlukan key API. Berikut ini adalah tampilan pada Ubidots :



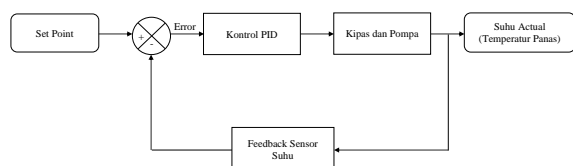
Gambar 1.4 Tampilan Platform IoT Ubidots

II. METODE PENELITIAN

Dalam Penelitian sistem kotak pendingin menggunakan *thermoelectric* ini, pada proses pengendalian temperatur panas yang akan menyebabkan temperatur dingin mendapat nilai sekitar 0°C di dalam kotak pendingin dilakukan

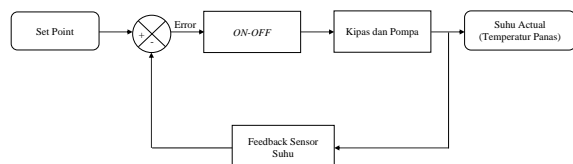
dengan dua jenis metode kontrol, yaitu kontrol PID dan metode on-off. Penggunaan dua jenis metode kontrol ini dilakukan untuk melihat hasil perbandingannya. Konsep dasar merupakan pedoman untuk merencanakan sesuatu dalam melakukan perancangan sistem yang akan dibuat, dimana konsep dasar ini memuat langkah-langkah dan petunjuk dalam proses penelitian.

A. Diagram Blok Sistem Kotak Pendingin



Gambar 2.1 Diagram Blok Sistem dengan Kontrol PID

Berdasarkan gambar diagram blok sistem kendali diatas, nilai temperatur yang diinginkan (set point) diatur pada program arduino yang terhubung dengan mikrokontroler. Dari mikrokontroler, nilai dari set point temperatur yang di atur pada arduino akan di kontrol menggunakan kontrol PID untuk mengatur kecepatan kipas DC dan Pompa DC dengan kecepatan yang meningkat atau menurun maka temperatur panas akan menjaga kestabilannya mengikuti nilai set point dan dari nilai set point yang dihasilkan maka, temperatur dingin di dalam ruang kotak pendingin akan mengikuti untuk mempertahankan nilainya. Selanjutnya sensor akan membaca besarnya suhu kotak pendingin untuk di umpan balik (feedback) dan dibandingkan dengan besarnya set point. Proses akan terus berulang sampai error yang dihasilkan mendekati 0.

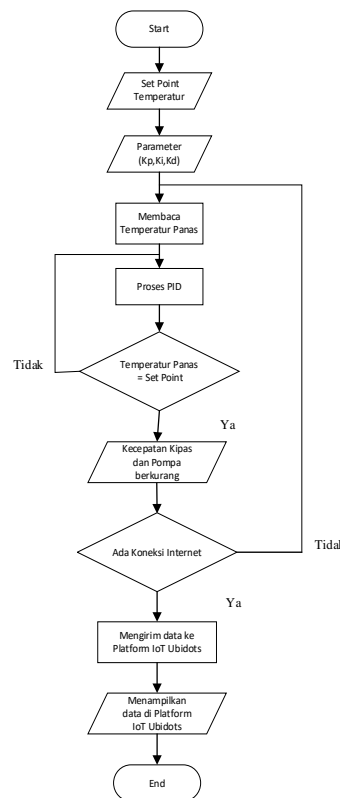


Gambar 2.2 Diagram Blok Sistem dengan Metode ON-OFF

Pada gambar diagram blok sistem kendali on-off diatas memiliki persamaan dengan dengan sistem kontrol PID. Perbedaannya hanya terdapat pada saat penggunaan metode on-off kecepatan kipas dan pompa bukan berkurang atau meningkat tetapi apabila telah mencapai set point maka, kipas dan pompa akan berada pada keadaan off dan jika belum mencapai set point kipas dan pompa akan tetap dalam keadaan on dengan kecepatan maksimal.

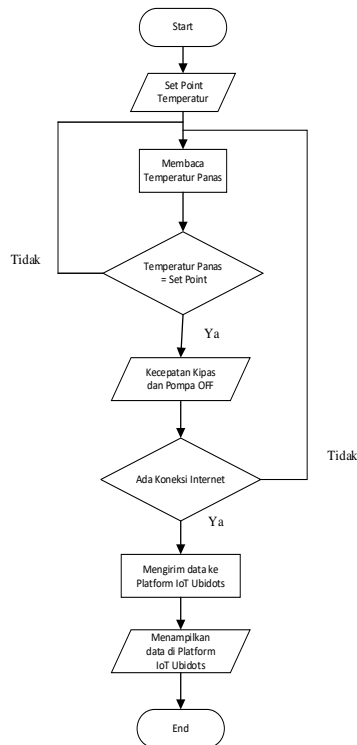
B. Diagram Alir Sistem Kotak Pendingin

Pada perancangan software dibuat diagram alir (flowchart) sistem kotak pendingin menggunakan thermoelectric untuk menjabarkan alur kerja sistem kotak pendingin yang dirancang. Berikut ini diagram alir untuk sistem kotak pendingin menggunakan 2 jenis metode kontrol yaitu, kontrol PID dan metode on-off.



Gambar 2.3 Diagram Alir Sistem dengan Kontrol PID

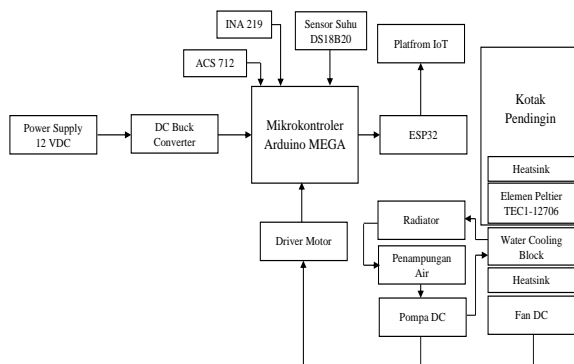
Berdasarkan gambar diagram alir menggunakan kontrol PID, program dimulai dengan memasukkan besarnya temperatur yang diinginkan (set point) pada program. Kemudian program berikutnya adalah pembacaan temperatur panas menggunakan sensor suhu DS18B20 yang dihasil bacanya ditampilkan pada platform IoT Ubidots. Dengan komunikasi Arduino dan ESP32, dari pembacaan temperatur tersebut maka program dapat menghitung besarnya temperatur yang didapat kemudian di masukkan ke dalam perhitungan kontroler PID untuk menghasilkan besar temperatur panas keluaran yang diinginkan, jika temperatur panas yang diinginkan belum sesuai maka akan kembali melakukan proses PID untuk mengatur kecepatan putar kipas dan pompa. Data yang dihasilkan akan dikirim pada platform IoT Ubidots dan data hasil pembacaan akan ditampilkan pada platform IoT Ubidots.



Gambar 2.4 Diagram Alir Sistem dengan Metode *ON-OFF*

C. Bagan Sistem Penyusun Komponen Keseluruhan

Bagan sistem penyusun komponen ini sangat memudahkan dalam proses perancangan sistem yang akan dibuat. Berikut adalah bagan sistem penyusun komponen untuk sistem kotak pendingin menggunakan thermoelectric :

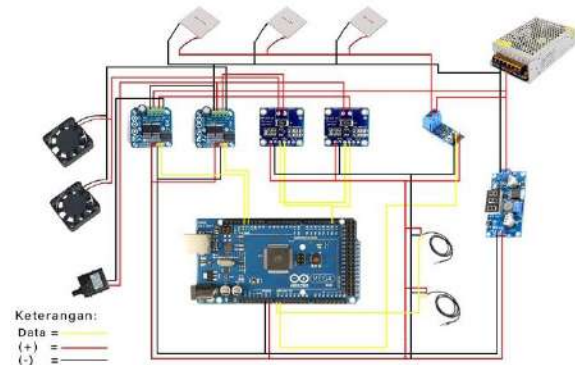


Gambar 2.5 Bagan Penyusun Komponen Keseluruhan

Dapat dilihat dari gambar 1.7 di atas, Arduino merupakan kontroler pusat dari sistem kotak pendingin menggunakan thermoelectric atau peltier ini, dimana pembacaan data melalui Arduino yang kemudian dikirim ke ESP32 dan selanjutnya dengan koneksi internet hasil baca data dari setiap sensor dapat dimonitoring dengan Platform IoT Ubidots.

D. Rangkaian Keseluruhan Sistem

Dalam perancangan hardware dilakukan pembuatan desain rancangan untuk penyambungan setiap komponen yang digunakan pada sistem kotak pendingin. Setelah dirancang maka perangkat keras seperti sensor dan aktuator di sambungkan dengan Arduino Mega.



Gambar 2.6 Rangkaian Keseluruhan Sistem

III. HASIL DAN PEMBAHASAAN

Dalam penelitian ini, untuk melihat kinerja sistem yang dibuat maka dilakukan pengujian. Pengujian dilakukan untuk melihat apakah sistem yang dirancang dapat menghasilkan suhu pendinginan sesuai dengan suhu yang diinginkan (set point) dan juga untuk melihat perilaku dari sistem saat diberikan pengontrol. Adapun metode kontrol yang digunakan adalah kontrol PID dan metode *on-off*.

A. Hasil Perancangan Alat

Berdasarkan Hasil desain kotak pendingin menggunakan *thermoelectric* ini dirancang dengan keadaan kotak tertutup dengan rapat agar dapat bekerja dengan tepat. Perancangan sedemikian rupa dibuat menggunakan beberapa komponen pendukung lain agar dapat menghasilkan suhu dingin yang diinginkan didalam kotak pendingin. Hasil dari desain kotak pendingin menggunakan thermoelectric dapat dilihat pada gambar berikut.



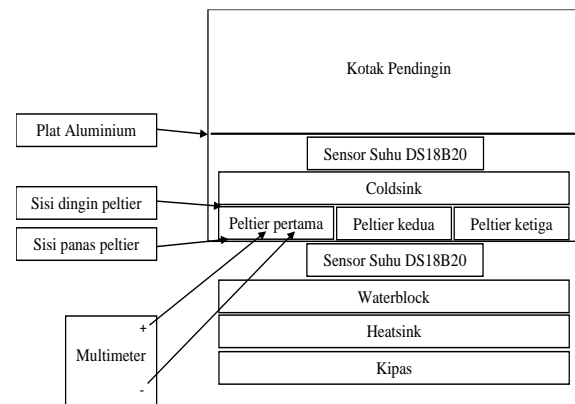
Gambar 3.1 Hasil Perancangan Alat

B. Pengujian Thermoelectric Atau Peltier Yang Digunakan

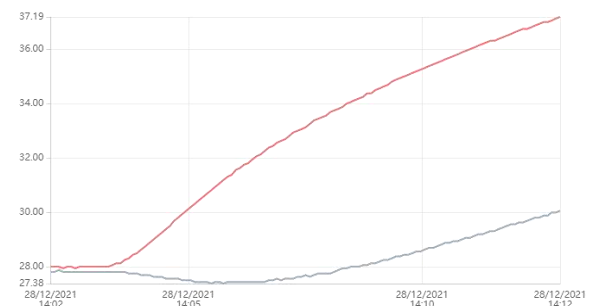
Tabel 3.1 Data Hasil Pengujian Peltier Pertama

Waktu (Menit)	Peltier Pertama 9,84 Volt						Peltier Pertama 10,83 Volt						Peltier Pertama 11,83 Volt					
	T2 (°C)	T1 (°C)	ΔT (°C)	V (V)	I (A)	P (Watt)	T2 (°C)	T1 (°C)	ΔT (°C)	V (V)	I (A)	P (Watt)	T2 (°C)	T1 (°C)	ΔT (°C)	V (V)	I (A)	P (Watt)
0	28	27,81	0,19	9,84	3,71	36,46	28,44	28,31	0,1	10,83	2,5	27,5	29,25	28,75	0,5	11,83	2,83	33,47
1	28	27,81	0,19	9,84	2,59	25,45	29,44	28,13	1,3	10,83	2,3	25,34	31	28,56	2,4	11,83	2,59	30,63
2	29,25	27,63	1,62	9,84	2,29	22,51	31,44	28	3,4	10,83	2,3	25,34	33	28,63	4,4	11,83	2,44	28,86
3	30,19	27,5	2,69	9,84	2,1	20,64	32,94	28,06	4,9	10,83	2,2	24,25	34,75	28,88	5,9	11,83	2,49	29,45
4	31,56	27,44	4,12	9,84	2,1	20,64	34,25	28,31	5,9	10,83	2,2	24,25	36,31	29,44	6,9	11,83	2,49	29,45
5	32,69	27,56	5,13	9,84	2,05	20,15	35,44	28,75	6,7	10,83	2,3	25,34	37,63	30,06	7,6	11,83	2,44	28,86
6	33,69	27,75	5,94	9,84	2,1	20,64	36,5	29,31	7,2	10,83	2,3	24,8	38,94	30,88	8,1	11,83	2,44	28,86
7	34,56	28,13	6,43	9,84	2,1	20,64	37,38	29,88	7,5	10,83	2,2	24,25	40,19	31,69	8,5	11,83	2,39	28,27
8	35,38	28,63	6,75	9,84	2,05	20,15	38,31	30,5	7,8	10,83	2,2	24,25	40,94	32,31	8,6	11,83	2,44	28,86
9	36,13	29,19	6,94	9,84	2,05	20,15	39,06	31,13	7,9	10,83	2,2	24,25	41,94	33,06	8,9	11,83	2,44	28,86
10	36,75	29,63	7,12	9,84	2,05	20,15	39,81	31,75	8,1	10,83	2,2	24,25	43,06	34,06	9	11,83	2,39	28,27
Rata-rata	32,38	28,1	4,28	9,84	2,29	22,51	34,82	29,28	5,5	10,83	2,3	24,89	37	30,57	6,4	11,83	2,49	29,44

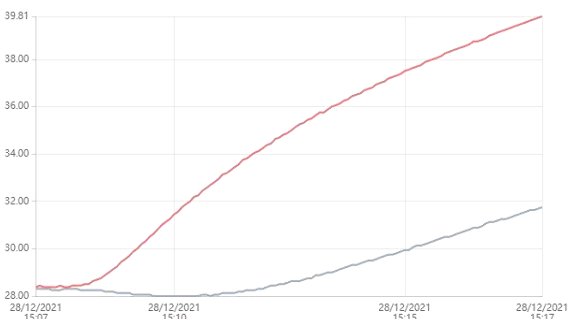
Dari data hasil pengujian thermoelectric atau peltier pertama yang digunakan, pengujian dilakukan dengan pemberian tegangan yang berbeda-beda selama 10 menit, thermoelectric atau peltier yang digunakan bekerja sesuai dengan efek peltier yang apabila diberikan arus listrik maka akan terjadi perbedaan temperatur, salah satu sisi akan menjadi panas dan sisi lainnya akan menjadi dingin. Pengujian daya masukan diukur dengan cara mengukur tegangan. Dari hasil pengujian peltier pertama dengan nilai tegangan yang diberikan sebesar 9,84 Volt selama 10 menit dari pukul 14.02 – 14.12 WITA memperoleh temperatur panas sebesar 36,75°C dan temperatur dingin sebesar 29,63°C dengan konsumsi daya listrik tertinggi sebesar 33,47 Watt dan konsumsi daya listrik terendah sebesar 28,27 Watt. Pada peltier pertama dengan nilai tegangan yang diberikan sebesar 10,83 Volt selama 10 menit dari pukul 15.07 – 15.17 WITA memperoleh temperatur panas sebesar 39,81°C dan temperatur dingin sebesar 31,75°C dengan konsumsi daya listrik tertinggi sebesar 27,5 Watt dan konsumsi daya listrik terendah sebesar 24,25 Watt dan untuk pengujian peltier pertama dengan nilai tegangan yang diberikan sebesar 11,83 Volt selama 10 menit dari pukul 16.03 – 16.13 WITA memperoleh temperatur panas sebesar 43,06°C dan temperatur dingin sebesar 34,06°C dengan konsumsi daya listrik tertinggi sebesar 33,47 Watt dan konsumsi daya listrik terendah sebesar 28,27 Watt. Dari hasil pengujian penyerapan panas (sisi dingin peltier) dan pembuangan panas (sisi panas peltier) yang dihasilkan sebanding dengan daya listrik yang diberikan pada modul peltier.



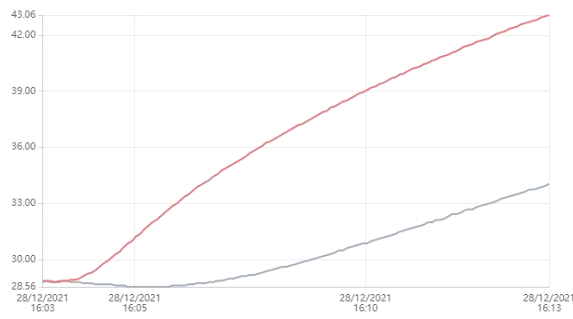
Gambar 3.1 Konfigurasi Pengukuran Peltier Pertama



Gambar 3.2 Temperatur peltier pertama dengan tegangan sebesar 9,84 Volt



Gambar 3.3 Temperatur peltier pertama dengan tegangan sebesar 10,83 Volt



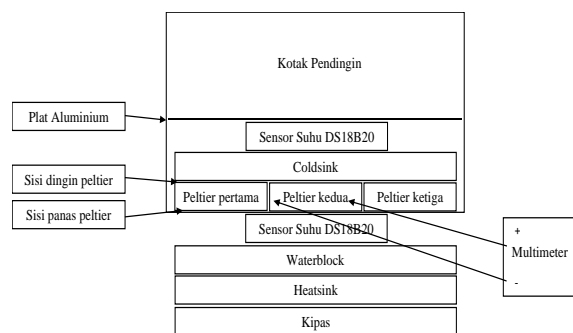
Gambar 3.4 Temperatur peltier pertama dengan tegangan sebesar 11,83 Volt

Tabel 3.2 Data Hasil Pengujian Peltier Kedua

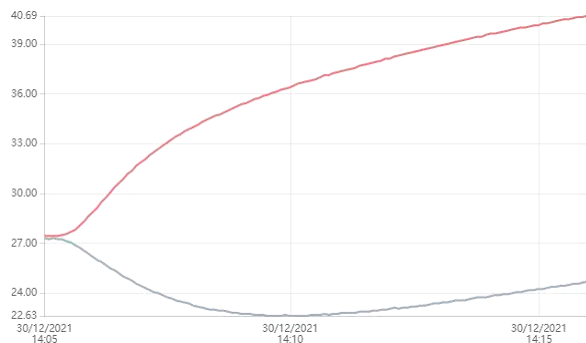
Waktu (Menit)	Peltier Kedua 9,83 Volt						Peltier Kedua 10,83 Volt						Peltier Kedua 11,85 Volt					
	T2 (°C)	T1 (°C)	ΔT (°C)	V (V)	I (A)	P (Watt)	T2 (°C)	T1 (°C)	ΔT (°C)	V (V)	I (A)	P (Watt)	T2 (°C)	T1 (°C)	ΔT (°C)	V (V)	I (A)	P (Watt)
0	27,56	27,13	0,43	9,83	2,39	23,49	29,56	26,88	2,7	10,83	2,4	25,88	28,31	28,25	0,1	11,85	2,68	31,7
1	31,88	24,44	7,44	9,83	2,1	20,64	33,75	24,75	9	10,83	2,2	23,71	33	25,88	7,1	11,85	2,34	27,68
2	33,75	23,44	10,3	9,83	2,05	20,15	35,81	23,94	12	10,83	2,2	23,71	35,81	24,81	11	11,85	2,24	26,49
3	35,25	22,81	12,4	9,83	2	19,66	37,44	23,63	14	10,83	2,2	23,71	38,81	24,31	15	11,85	2,34	27,68
4	36,38	22,63	13,8	9,83	2	19,66	38,63	23,69	15	10,83	2,2	23,71	39,69	24,38	15	11,85	2,29	27,09
5	37,31	22,75	14,6	9,83	2	19,66	39,44	23,88	16	10,83	2,2	23,28	40,94	24,74	16	11,85	2,24	26,49
6	38	23	15	9,83	1,95	19,16	40,63	24,38	16	10,83	2,2	23,28	42,19	25,31	17	11,85	2,29	27,09
7	38,88	23,38	15,5	9,83	2	19,66	41,44	24,88	17	10,83	2,2	23,28	43,25	25,88	17	11,85	2,24	26,49
8	39,44	23,75	15,7	9,83	1,95	19,16	42,19	25,44	17	10,83	2,2	23,28	44,13	26,56	18	11,85	2,19	25,9
9	40,13	24,25	15,9	9,83	2,05	20,15	42,88	25,94	17	10,83	2,2	23,28	44,94	27,19	18	11,85	2,24	26,49
10	40,69	24,69	16	9,83	1,95	19,16	43,44	26,5	17	10,83	2,1	22,74	45,69	27,88	18	11,85	2,24	26,49
Rata-rata	36,3	23,84	12,5	9,83	2,04	20,05	38,66	24,9	14	10,83	2,2	23,62	39,71	25,93	14	11,85	2,3	27,24

Dari data hasil pengujian *thermoelectric* atau peltier pertama yang digunakan, pengujian dilakukan dengan pemberian tegangan yang berbeda-beda selama 10 menit, thermoelectric atau peltier yang digunakan bekerja sesuai dengan efek peltier yang apabila diberikan arus listrik maka akan terjadi perbedaan temperatur, salah satu sisi akan menjadi panas dan sisi lainnya akan menjadi dingin. Dari hasil pengujian peltier pertama dengan nilai tegangan yang diberikan sebesar 9,83 Volt selama 10 menit dari pukul 14.05 – 14.15 WITA memperoleh temperatur panas sebesar 40,69°C dan temperatur dingin sebesar 24,69°C dengan konsumsi daya listrik tertinggi sebesar 23,49 Watt dan konsumsi daya listrik terendah sebesar 19,16 Watt. Pada peltier pertama dengan nilai tegangan yang diberikan sebesar 10,83 Volt selama 10 menit dari pukul 14.52 – 15.02 WITA memperoleh temperatur panas sebesar 43,44°C dan temperatur dingin sebesar 26,5°C dengan konsumsi daya listrik tertinggi sebesar 25,88 Watt dan konsumsi daya listrik terendah sebesar 22,74 Watt dan untuk pengujian

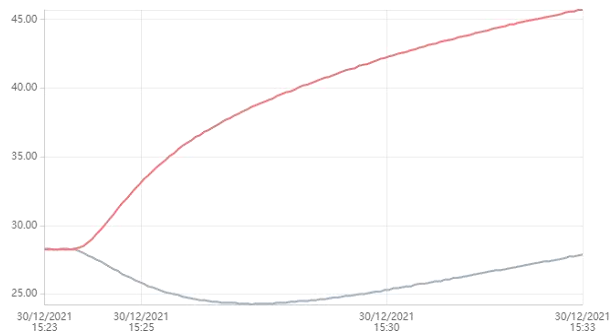
peltier pertama dengan nilai tegangan yang diberikan sebesar 11,85 Volt selama 10 menit dari pukul 15.23 – 15.33 WITA memperoleh temperatur panas sebesar 45,69°C dan temperatur dingin sebesar 27,88°C dengan konsumsi daya listrik tertinggi sebesar 31,7 Watt dan konsumsi daya listrik terendah sebesar 26,49 Watt. Dari hasil pengujian penyerapan panas (sisi dingin peltier) dan pembuangan panas (sisi panas peltier) yang dihasilkan sebanding dengan daya listrik yang diberikan pada modul peltier.



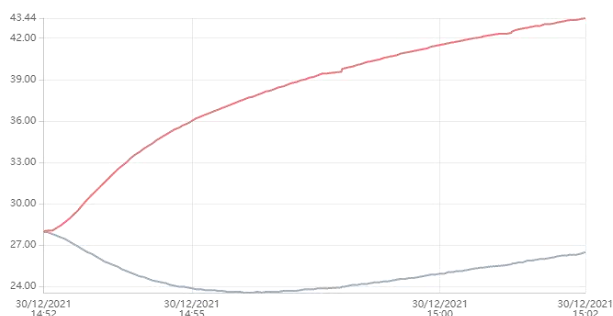
Gambar 3.5 Konfigurasi Pengukuran Peltier Kedua



Gambar 3.6 Temperatur peltier kedua dengan tegangan sebesar 9,83 Volt



Gambar 3.8 Temperatur peltier kedua dengan tegangan sebesar 10,85 Volt



Gambar 3.7 Temperatur peltier kedua dengan tegangan sebesar 10,83 Volt

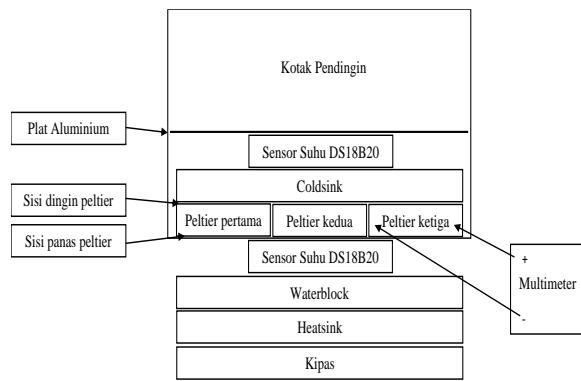
Tabel 3.3 Data Hasil Pengujian Peltier Ketiga

Waktu (Menit)	Peltier Ketiga 9,82 Volt						Peltier Ketiga 10,83 Volt						Peltier Ketiga 11,84 Volt					
	T2 (°C)	T1 (°C)	ΔT (°C)	V (V)	I (A)	P (Watt)	T2 (°C)	T1 (°C)	ΔT (°C)	V (V)	I (A)	P (Watt)	T2 (°C)	T1 (°C)	ΔT (°C)	V (V)	I (A)	P (Watt)
0	28,5	28,56	-0,1	9,82	2,63	25,82	28,5	28,25	0,3	10,83	2,9	31,73	28,25	28,25	0	11,84	3,07	36,34
1	37	25,81	11,2	9,82	2,44	23,96	43,56	22,81	21	10,83	2,6	28,48	44,5	23,5	21	11,84	2,73	32,32
2	42,13	22,81	19,3	9,82	2,34	22,97	46	21,5	25	10,83	2,5	27,5	48,31	21,88	26	11,84	2,73	32,32
3	44,13	21,31	22,8	9,82	2,34	22,97	47,88	20,81	27	10,83	2,6	28,04	50,31	21,5	29	11,84	2,73	32,32
4	45,44	20,56	24,9	9,82	2,34	22,97	48,81	20,75	28	10,83	2,5	26,96	51,75	21,63	30	11,84	2,68	31,73
5	46,5	20,38	26,1	9,82	2,29	22,48	50,13	20,06	30	10,83	2,5	27,5	53,06	22,06	31	11,84	2,73	32,32
6	47,31	20,44	26,9	9,82	2,29	22,48	51,06	21,44	30	10,83	2,5	27,5	54,13	22,63	32	11,84	2,68	31,73
7	48,13	20,69	27,4	9,82	2,34	22,97	51,81	22	30	10,83	2,5	27,5	55,19	23,38	32	11,84	2,63	31,13
8	48,75	21,06	27,7	9,82	2,39	23,46	52,63	22,5	30	10,83	2,5	26,96	56	24	32	11,84	2,63	31,13
9	49,38	21,44	27,9	9,82	2,29	22,48	53,31	23,06	30	10,83	2,5	27,5	56,81	24,75	32	11,84	2,63	31,13
10	49,81	21,81	28	9,82	2,34	22,97	53,94	23,56	30	10,83	2,5	26,96	57,56	25,31	32	11,84	2,63	31,13
Rata-rata	44,28	22,26	22	9,82	2,37	23,23	47,97	22,43	26	10,83	2,6	27,88	50,53	23,54	27	11,84	2,72	32,15

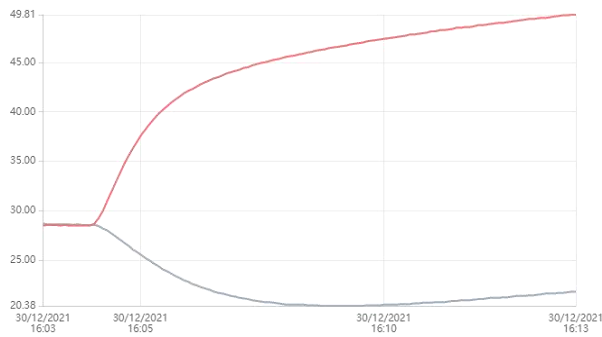
Dari data hasil pengujian thermoelectric atau peltier pertama yang digunakan, pengujian dilakukan dengan pemberian tegangan yang berbeda-beda selama 10 menit, thermoelectric atau peltier yang digunakan bekerja sesuai dengan efek peltier yang apabila diberikan arus listrik maka akan terjadi perbedaan temperatur, salah satu sisi akan menjadi panas dan sisi lainnya akan menjadi dingin. Dari hasil

pengujian peltier pertama dengan nilai tegangan yang diberikan sebesar 9,82 Volt selama 10 menit dari pukul 16.03 – 16.13 WITA memperoleh temperatur panas sebesar 49,81°C dan temperatur dingin sebesar 21,81°C dengan konsumsi daya listrik tertinggi sebesar 25,82 Watt dan konsumsi daya listrik terendah sebesar 22,97 Watt. Pada peltier pertama dengan nilai tegangan yang diberikan sebesar 10,83 Volt selama

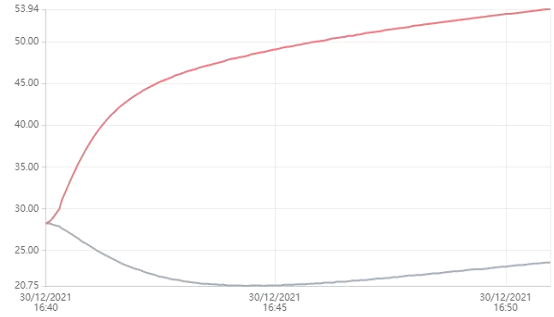
10 menit dari pukul 16.40 – 16.50 WITA memperoleh temperatur panas sebesar 53,94°C dan temperatur dingin sebesar 23,56°C dengan konsumsi daya listrik tertinggi sebesar 31,73 Watt dan konsumsi daya listrik terendah sebesar 26,96 Watt dan untuk pengujian peltier pertama dengan nilai tegangan yang diberikan sebesar 11,84 Volt selama 10 menit dari pukul 17.13 – 17.23 WITA memperoleh temperatur panas sebesar 57,56°C dan temperatur dingin sebesar 25,31°C dengan konsumsi daya listrik tertinggi sebesar 36,34 Watt dan konsumsi daya listrik terendah sebesar 31,13 Watt. Dari hasil pengujian penyerapan panas (sisi dingin peltier) dan pembuangan panas (sisi panas peltier) yang dihasilkan sebanding dengan daya listrik yang diberikan pada modul peltier.



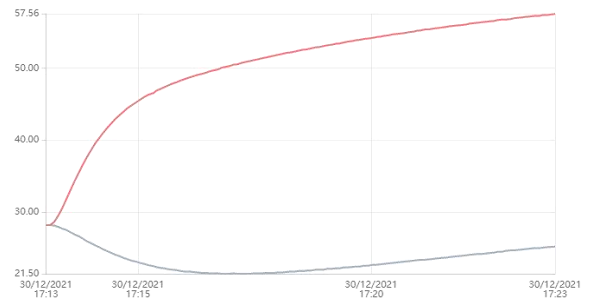
Gambar 3.9 Konfigurasi Pengukuran Peltier Ketiga



Gambar 3.10 Temperatur peltier ketiga dengan tegangan sebesar 9,82 Volt



Gambar 3.11 Temperatur peltier ketiga dengan tegangan sebesar 10,83 Volt

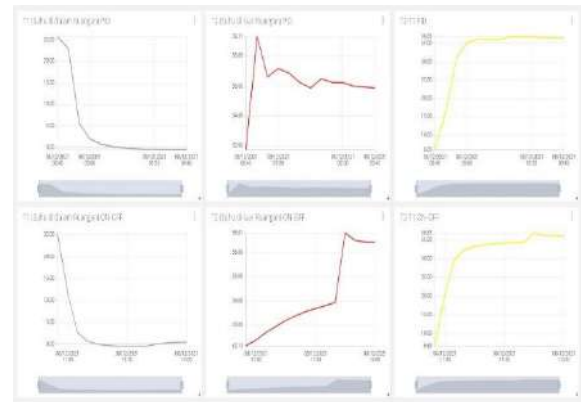


Gambar 3.12 Temperatur peltier ketiga dengan tegangan sebesar 11,84 Volt

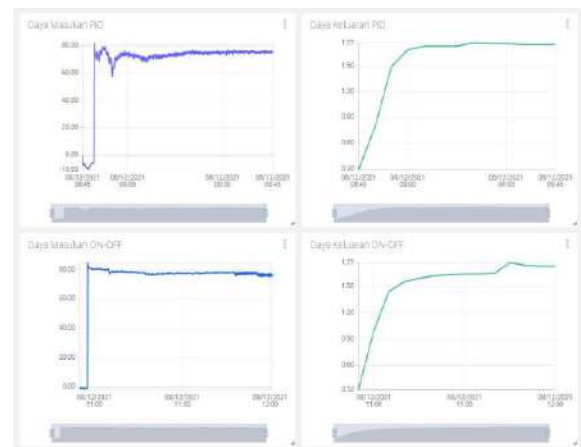
C. Data hasil pengujian sistem kotak pendingin menggunakan kontrol PID dan metode on-off

Pengujian menggunakan Kontrol PID										Pengujian menggunakan Metode ON-OFF									
Waktu	T2	T1	ΔT	Error T2	V	I	P Masukan	P Keluaran	Efisiensi	Waktu	T2	T1	ΔT	Error T2	V	I	P Masukan	P Keluaran	Efisiensi
	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(V)	(A)	(Watt)	(Watt)			(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(V)	(A)	(Watt)	(Watt)	
08.45	31,75	25,75	6	3,25	11,95	6,84	81,76	0,29	0,35%	10.55	32,13	25,44	6,69	2,87	11,95	7,08	84,68	0,32	0,37%
08.50	39,31	22,81	16,5	4,31	11,95	6,66	79,43	0,79	0,99%	11.00	32,38	11,69	20,69	2,62	11,95	6,79	81,18	0,99	1,21%
08.55	36,63	5,69	30,94	1,63	11,95	6,63	75,92	1,49	1,96%	11.05	32,69	2,69	30	2,31	11,95	6,64	79,43	1,44	1,81%
09.00	37,19	2	35,19	2,19	11,95	6,25	74,76	1,69	2,26%	11.10	32,94	0,63	32,31	2,06	11,95	6,59	78,85	1,55	1,96%
09.05	36,88	0,81	36,07	1,88	11,95	6,15	73,59	1,73	2,35%	11.15	33,19	0	33,19	1,81	11,95	6,54	78,26	1,59	2,03%
09.10	36,25	0,25	36	1,25	11,95	6,25	74,76	1,73	2,31%	11.20	33,38	-0,31	33,69	1,62	11,95	6,5	77,68	1,62	2,08%
09.15	35,88	-0,06	35,94	0,88	11,95	6,35	75,92	1,73	2,27%	11.25	33,56	-0,44	34	1,44	11,95	6,54	78,26	1,63	2,08%
09.20	36,5	-0,31	36,81	1,5	11,95	6,4	76,5	1,77	2,31%	11.30	33,69	-0,44	34,13	1,31	11,95	6,54	78,26	1,64	2,09%
09.25	36,25	-0,5	36,75	1,25	11,95	6,4	76,5	1,76	2,30%	11.35	33,81	-0,44	34,25	1,19	11,95	6,54	78,26	1,64	2,09%
09.30	36,25	-0,5	36,75	1,25	11,95	6,4	76,5	1,76	2,30%	11.40	33,94	-0,44	34,38	1,06	11,95	6,54	78,26	1,65	2,10%
09.35	36	-0,56	36,56	1	11,95	6,4	76,5	1,75	2,28%	11.45	36,81	0	36,81	1,81	11,95	6,59	78,85	1,77	2,24%
09.40	35,94	-0,56	36,5	0,94	11,95	6,35	75,92	1,75	2,30%	11.50	36,5	0,25	36,25	1,5	11,95	6,59	78,85	1,74	2,20%
09.45	35,88	-0,56	36,44	0,88	11,95	6,25	75,92	1,75	2,30%	11.55	36,44	0,38	36,06	1,44	11,95	6,54	78,26	1,73	2,21%
Rata-rata	36,2	4,17	32,03	1,7	11,95	6,41	76,46	1,53	2,02%	Rata-rata	33,96	3	30,96	1,77	11,95	6,61	79,16	1,48	1,88%

Dari data hasil pengujian sistem kotak pendingin menggunakan kontrol PID dan metode on-off, nilai T1 dan T2 didapat dari data mentah yang dibaca oleh sensor suhu DS18B20, dimana T1 merupakan suhu dingin (suhu dalam ruangan) dan T2 merupakan suhu panas (suhu luar ruangan). Nilai dari delta T merupakan selisih antara T2 dengan T1, error T2 didapat dari selisih antara set point T2 dengan nilai keluaran T2 yang diperoleh, sedangkan daya masukan didapatkan dari hasil perhitungan tegangan masukan dengan arus masukan. Nilai dari tegangan masukan diukur secara langsung pada sumber tegangan sedangkan nilai arus diambil dari hasil pembacaan sensor arus ACS712. Daya masukan yang diukur merupakan daya yang dikonsumsi oleh thermoelectric atau peltier yang merupakan elemen pendingin utama dan terdapat di dalam ruangan. Daya keluaran didapatkan dari hasil perhitungan berdasarkan rumus perpindahan panas konveksi. Dimana, kecepatan aliran udara yang lambat memiliki nilai koefisien transfer panas 10 W/m²K berdasarkan pada tabel nilai koefisien transfer panas. Luas permukaan thermoelectric atau peltier memiliki nilai 0,0016 m² sesuai dengan ukuran dari 3 thermoelectric yang digunakan. Sensor suhu DS18B20 yang digunakan membaca nilai temperatur dalam derajat Celcius. Selisih temperatur dalam derajat Celcius sama dengan selisih dalam derajat Kelvin. Dari data daya masukan dan daya keluaran, didapat termal efisiensi dari sistem kotak pendingin menggunakan thermoelectric atau peltier dengan rumus efisiensi termal sama dengan perbandingan antara berapa daya yang didapatkan dan berapa daya yang dimasukkan pada thermoelectric untuk mempertahankan suhu di dalam kotak.



Gambar 3.13 Grafik hasil pengujian temperatur pada sistem kotak pendingin menggunakan thermoelectric atau peltier



Gambar 3.14 Grafik hasil pengujian daya pada sistem kotak pendingin menggunakan thermoelectric atau peltier

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Dari hasil pengujian yang dilakukan, dengan mengatur temperatur panas berada pada *set point* sekitar 35°C, temperatur dingin (temperatur di dalam ruangan sistem kotak pendingin) akan berada pada suhu sekitar 0°C sehingga dapat digunakan untuk pengawetan atau memperpanjang masa simpan ikan.
2. Dalam percobaan kontrol PID dengan nilai $K_P = 75$, $K_I = 0.5$ dan $K_D = 0.1$, respon sistem lebih lambat mencapai *set point* tetapi mengalami peningkatan pada temperatur panas awal yang melewati nilai *set point*. Namun, setelah terjadi peningkatan temperatur panas, respon sistem kembali menurunkan temperatur panas dan dapat mempertahankan kestabilan temperatur panas mendekati nilai *set point*. Sedangkan dengan metode on-off respon sistem tidak mengalami peningkatan temperatur panas awal yang melewati nilai *set point*.
3. Dalam proses pengujian selama 1 jam menggunakan kontrol PID, sistem kotak pendingin ini dapat mencapai temperatur dingin (temperatur dalam ruangan) sekitar 0°C dalam waktu 20 menit berada pada suhu 0,81°C, sedangkan proses pengujian selama 1 jam menggunakan metode on-off, sistem kotak pendingin ini dapat mencapai temperatur dingin sekitar 0°C dalam waktu 15 menit berada pada suhu 0,63°C.
4. Daya yang dimasukkan pada pendingin *thermoelectric* atau peltier dengan menyalakan alat menggunakan kontrol PID atau metode on-off tidak jauh berbeda. Dengan kontrol PID daya masukan yang dikonsumsi rata-rata sebesar 76,46 Watt sedangkan dengan metode on-off konsumsi daya masukan rata-rata sebesar 79,16 Watt.
5. Daya keluaran yang didapatkan dari *thermoelectric* atau peltier dengan kontrol PID menghasilkan daya keluaran rata-rata sebesar 1,53 Watt, sedangkan daya keluaran yang dihasilkan dengan metode on-off memperoleh daya keluaran rata-rata sebesar 1,48 Watt.
6. Jika dilihat dari penggunaan konsumsi daya, pengujian dengan kontrol PID mengkonsumsi daya yang lebih rendah dibandingkan dengan

pengujian menggunakan metode on-off dan jika dilihat dari temperatur yang dihasilkan, pengujian dengan kontrol PID lebih lambat mencapai target temperatur dibandingkan dengan pengujian yang menggunakan metode on-off.

7. Kontrol PID lebih baik dalam mempertahankan target temperatur pada sistem kotak pendingin dibandingkan dengan metode on-off karena dengan kontrol PID dapat menjaga kestabilan suhu atau temperatur mendekati nilai *set point*. Sedangkan dengan metode on-off, jika telah mencapai nilai *set point* sistem kotak pendingin berada pada keadaan off sehingga mengakibatkan temperatur panas mengalami kenaikan melebihi nilai *set point*.

B. Saran

1. Sebaiknya menggunakan peltier dengan kualitas yang baik dan kapasitas arus yang lebih besar untuk kotak pendingin yang berukuran lebih besar.
2. *Thermoelectric* atau peltier disusun secara paralel dengan kapasitas peltier yang memiliki arus yang lebih kecil disusun dengan peltier yang kapasitas arus yang lebih besar.
3. Mengurangi komponen pendukung pendinginan lainnya seperti radiator agar tidak terlalu banyak komponen penyusun.
4. Melakukan pengujian dengan beban ikan secara langsung dan mengukur temperatur dingin yang ada di dalam ruangan apabila diberikan beban pada kotak pendingin.

V. KUTIPAN

- [1] Aziz, A., Subroto, J., & Silpana, V. (2015). Aplikasi modul pendingin termoelektrik sebagai media pendingin kotak minuman.
- [2] Edge, E. (n.d.). Convective Heat Transfer Coefficients Table Chart | Engineering Reference and Online Tools. Retrieved December 15, 2021.
- [3] Elektro, J. T., Teknik, F., Kartika, U. W., & Rusli, A. (n.d.). Pengaturan Temperatur Pendingin Portable menggunakan Arduino Nano.

- [4] Sampurno, B., Abdurrahman, A., & Had, H. S. (2016). Sistem Kendali PID pada Pengendalian Suhu untuk Kestabilan Proses Pemanasan Minuman Sari Jagung .
- [5] Siburian, E. T. P., Dewi, P., Kariada, N., Biologi, J., Mipa, F., & Semarang, U. N. (2012). Pengaruh Suhu dan Waktu Penyimpanan Terhadap Pertumbuhan Bakteri dan Fungi Ikan Bandeng.
- [6] Sitakar, N. M. (2015). Pengaruh Suhu Pemeliharaan Ikan Dan Masa Simpan Daging Ikan Nila (*Oreochromis Niloticus*) Pada Penyimpanan Suhu-20° C Terhadap Jumlah Total Bakteri. Etd Unsyiah.
- [7] Suprayitno, E. (2020). Kajian Kesegaran Ikan Di Pasar Tradisional Dan Modern Kota Malang.

TENTANG PENULIS



Mawar Sharon Pua.

Penulis merupakan seorang perempuan yang lahir di Tomohon pada Tanggal 29 September 1999 terlahir dari pasangan Bapak Arie Anderson Pua dan Ibu Meike Loindong. Penulis berasal dari Desa Leilem Kabupaten Minahasa. Penulis memulai Pendidikan di SD INPRES 1 Leilem (2005-2011). Kemudian melanjutkan pendidikan di SMP Kristen Leilem (2011-2014) dan melanjutkan bersekolah di SMA Negeri 1 Tomohon (2014-2017). Tahun 2017 setelah lulus SMA, penulis melanjutkan studi di Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sam Ratulangi, Manado. Dua tahun kemudian, yaitu tahun 2019, penulis memilih konsentrasi minat Teknik Kendali dan Kecerdasan Buatan. Selama berkuliah, penulis merupakan anggota Himpunan Mahasiswa Elektro dimulai tahun 2017.