

## **Rancang Bangun Optimasi Kontrol PID Metode Ciancone untuk Meningkatkan Stabilitas Suhu *Dry Bath Incubator***

**Lili Ruhyana<sup>1\*</sup>; Gunawan<sup>1</sup>; Mulyatno<sup>1</sup>; Baiq Meliani Ramdini<sup>1</sup>**

1. Universitas Mohammad Husni Thamrin, Sarjana Terapan Teknik Elektromedik, Jl. Salemba Tengah No.5, Paseban, Senen, Jakarta Pusat, DKI Jakarta 10440, Indonesia

*\*Email: lieruhyana@thamrin.ac.id*

*Received: 13 Mei 2024 | Accepted: 31 Mei 2024 | Published: 05 Juli 2024*

### **ABSTRACT**

*This research aims to create a dry bath incubator with PID control using the Ciancone method, which will be tested at a setpoint value of 60 °C. This tool is used to incubate samples at certain temperatures and measure the extent to which each method can provide the desired level of precision and stability. Quantitative analysis was performed to compare the performance of the methods, including evaluation of stabilization time, overshoot rate, and system response to setpoint changes. The research results show that PID control with the Ciancone tuning method on the dry bath incubator is better when compared to P control and PI control, where PID control has a response to rise time of 57 seconds while P control and PI control require 203 seconds and 67 seconds. This tool has generally worked as expected, and development is needed to provide more precise response values.*

**Keywords:** *Dry bath incubator, PID, Ciancone method, rise time*

### **ABSTRAK**

*Penelitian ini bertujuan untuk membuat alat dry bath incubator dengan kontrol PID metode Ciancone yang akan diujikan pada nilai setpoint 60 °C. Alat ini digunakan untuk menginkubasi sampel pada suhu tertentu dan mengukur sejauh mana masing-masing metode dapat memberikan tingkat presisi dan stabilitas yang diinginkan. Analisis kuantitatif dilakukan untuk membandingkan performa metode, termasuk evaluasi waktu penstabilan, tingkat overshoot, dan respons sistem terhadap perubahan setpoint. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kendali PID dengan tuning metode Ciancone pada alat dry bath incubator ini lebih baik bila dibandingkan dengan kendali P dan kendali PI, yang mana kendali PID memiliki respon untuk menuju rise time dengan waktu 57 detik sedangkan kendali P dan kendali PI memerlukan waktu 203 detik dan 67 detik. Secara umum alat ini sudah bekerja sesuai yang diharapkan dan diperlukan pengembangan untuk nilai respon yang lebih presisi.*

**Kata kunci:** *Dry bath incubator, PID, metode Ciancone, rise time*

## 1. PENDAHULUAN

Pemanfaatan mikroorganisme sudah sangat banyak diterapkan di dunia kesehatan, dimana mikroorganisme memiliki potensi penting di bidang kedokteran dan sains. Pada umumnya pemanfaatan mikroorganisme banyak digunakan secara industri seperti produksi antibiotic, vaksin, insulin serta untuk membuat diagnosa penyakit tertentu. Deteksi bakteri yang andal dan cepat menjadi kebutuhan mendesak dalam bidang jaminan kesehatan masyarakat, diagnostik medis, dan keamanan pangan [1]. Dalam melakukan penelitian mikroorganisme khususnya di dunia medis suatu organisme membutuhkan suhu tertentu untuk mencegah kontaminasi dan suhu juga akan sangat mempengaruhi pertumbuhan kultur mikroorganisme yang dibudidayakan sehingga dibutuhkan sebuah alat yang dapat di atur pada suhu tertentu untuk mengembangbiakkan atau mempertahankan kondisi mikroorganisme yang akan diteliti, alat yang sering digunakan untuk keperluan penelitian di dunia medis yaitu alat *dry bath incubator* [2].

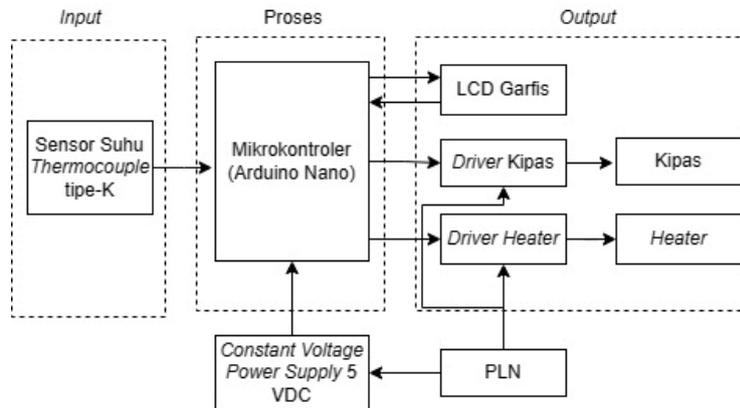
*Dry bath incubator* adalah perangkat termostat yang dikendalikan mikroprosesor dengan kontrol suhu presisi tinggi digunakan untuk menentukan titik lebur, titik didih, reaksi enzim, pengujian imunitas, denaturasi DNA, pengujian media kultur atau pengujian koagulasi, menjaga mikroorganisme yang berada didalam sebuah sampel, hal ini bertujuan agar sampel tersebut tidak cepat rusak atau menjaga sampel sehingga dapat disimpan lebih lama inkubasi dan aktifasi dari kultur [2][3]. *Dry bath incubator* digunakan untuk mengatur pemanasan suhu suatu sampel secara cepat, terkontrol dan juga secara konsisten untuk membuat sebuah sampel dalam mencapai suhu yang tepat secara cepat, namun dilaboratorium medis banyak digunakan *dry bath incubator* produk luar dengan *setting* suhu dan *timer* terbatas yang menyebabkan pengguna alat dalam penelitian sampel juga terbatas, selain itu sistem alat *dry bath incubator* juga masih belum menggunakan kontrol PID dan tampilan masih menggunakan LCD karakter atau *oled* sehingga *interface* yang ditampilkan kurang menarik.

Pada penelitian sebelumnya pernah dibuat alat "Prototype dry bath incubator", pada penelitian ini menggunakan sensor DS18B20 dan digunakan *heater blow* (PTC) untuk menghasilkan suhu 37 °C [4]. Selain itu, pada penelitian tersebut menggunakan dual mosfet sehingga tegangan yang masuk ke *heater* bisa diatur dan *heater* tidak mati saat suhu *heater* tercapai maksimal. Pada saat alat sudah selesai, maka *buzzer* akan berbunyi yang menandakan alat telah selesai bekerja dalam menampilkan nilai pembacaan suhu digunakan LCD 4x20. Kekurangan dari penelitian ini adalah *setting* suhu hanya bisa diatur di suhu 37 °C sedangkan untuk penelitian lebih luas dibutuhkan *setting* mulai dari 37 °C sampai dengan 150 °C.

Berdasarkan uraian permasalahan diatas penulis merancang alat *dry bath incubator* dengan optimasi kontrol PID metode *ciancone* untuk meningkatkan stabilitas suhu, dengan sistem kontrol PID alat ini dapat mengatur pemanasan suhu suatu sampel secara cepat, terkontrol dan konsisten [5]. Pengaturan suhu yang dapat diatur pada alat *dry bath incubator* dengan kontrol PID ini adalah 37 °C - 150 °C dengan tampilan alat menggunakan LCD *nextion touchscreen* sehingga menampilkan banyak data dan *interface* dengan sangat bagus [6].

**2. METODE/PERANCANGAN PENELITIAN**

**2.1. Diagram Blok Alat Penelitian**



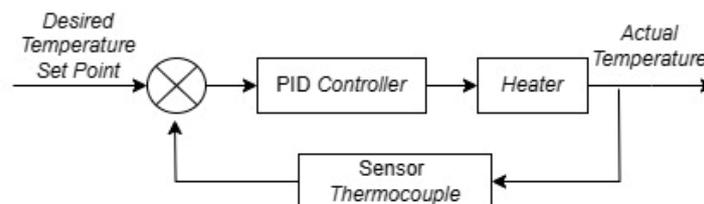
**Gambar 1.** Blok Diagram Sistem *Dry Bath Incubator*

Berdasarkan Gambar 1, tegangan dari PLN berfungsi untuk mensuplai tegangan untuk *heater* dan *driver heater* yang memerlukan tegangan 220 VAC serta tegangan 220 VAC diubah menjadi tegangan 5V DC untuk mensuplai mikrokontroler. Saat alat *dry bath incubator* dinyalakan dan dilakukan pengaturan suhu di LCD *nextion*, maka antara mikrokontroler dan LCD *nextion* bisa saling interaksi lawan arah sehingga mikrokontroler akan memberi sinyal ke *driver heater* untuk mengontrol serta mengaktifkan *heater* kemudian proses pemanasan akan dimulai dengan pengontrolan PID *Ciancone* dimana kontrol PID ini akan mengaktifkan *heater* saat suhu belum tercapai dan akan mematikan *heater* apabila suhu sudah mencapai *setting point*.

Dalam proses inkubasi pada penelitian ini menggunakan sensor pt100 untuk mendeteksi nilai suhu pada blok *heater* dan hasil pembacaan akan di proses oleh mikrokontroler sehingga kontrol PID *Ciancone* bisa berjalan dengan baik. Hasil pembacaan sensor akan ditampilkan di LCD *nextion* dalam bentuk grafik dan nilai suhu *real time*. Dalam proses PID digunakan bantuan kipas untuk menurunkan suhu dengan lebih cepat sehingga nilai *overshoot* menjadi lebih kecil dan suhu lebih cepat stabil.

**2.2. Diagram Blok PID**

Proses pengendalian suhu pada *dry bath incubator* dapat dilihat pada Gambar 2 Rangkaian PID *dry bath incubator* menggunakan sistem pengendali *loop* tertutup yang memiliki umpan balik (*feedback*) pada sensor suhu *thermocouple*, yang artinya sistem ini menggunakan *output* yang didapatkan untuk mengkoreksi dan dibandingkan dengan nilai *setpoint* [7].

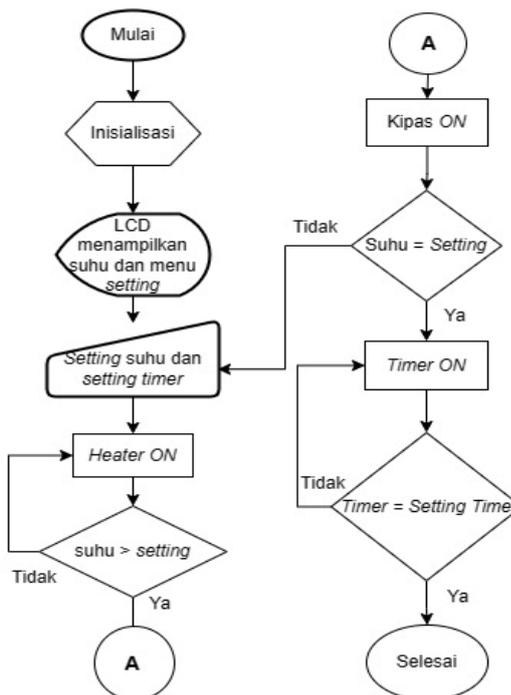


**Gambar 2.** Blok Diagram PID

Perbedaan tegangan vout dan vreff yang disebut *error* akan diteruskan ke PID. PID akan menghasilkan nilai *duty cycle* yang menjadi sinyal masukan untuk *driver heater* yang mengontrol *heater (plant)*. Dengan umpan balik seperti ini *dry bath incubator* akan secara otomatis menghasilkan Vout yang sesuai dengan permintaan Vreff. Sehingga *output* suhu akan mencapai *setpoint* dengan cepat dan suhu akan stabil sesuai dengan *setpoint*.

**2.3. Flowchart Pemrograman Dry Bath Incubator**

Algoritma dari sistem alat ini seperti terlihat pada Gambar 3 yang meliputi beberapa proses di dalam pemrograman di Arduino.

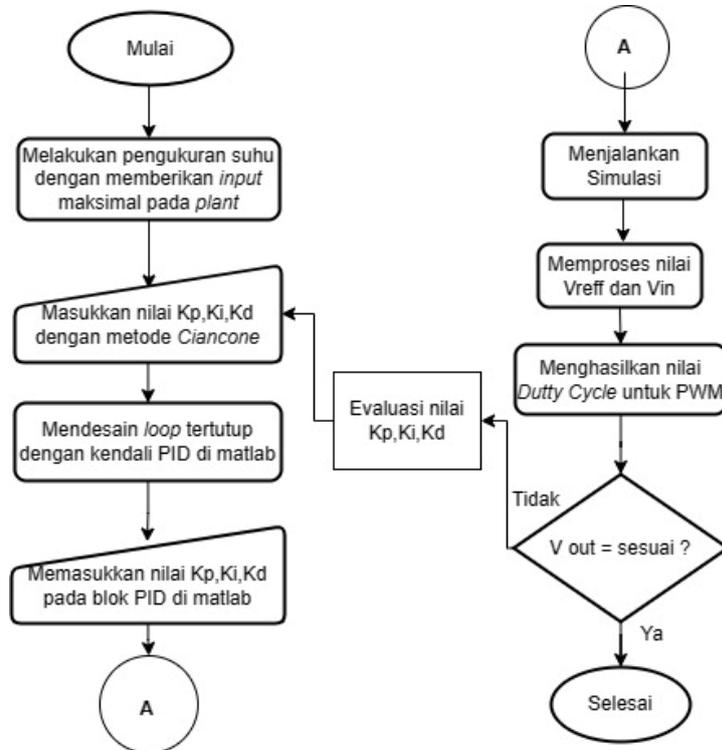


**Gambar 3.** Flowchart Sistem Alat

Saat tegangan listrik mengalir ke mikrokontroler, inisialisasi akan dilakukan oleh mikrokontroler dimana inisialisasi ini digunakan untuk mengenali alamat dan register pada program dan mengukur suhu awal oleh sensor suhu pt100. Setelah inisialisasi, LCD akan menampilkan kalimat pembuka yang sudah diprogram dan juga menampilkan menu pengaturan untuk proses inkubasi dimana alat dapat di *setting* dari suhu 37 °C - 150 °C. Selanjutnya dilakukan pengaturan suhu dan *timer*. Jika suhu telah ditentukan, maka tombol *start* ditekan. Jika tombol *start* tidak ditekan maka akan menunggu perintah selanjutnya sampai tombol *start* ditekan. Saat proses pemanasan oleh *heater* jika suhu yang terbaca kurang dari suhu *setting* maka *driver heater* akan mengendalikan kerja *heater* menggunakan sinyal PWM agar dapat melakukan pemanasan secara maksimal hingga suhu yang terbaca mengalami kenaikan sampai mendekati suhu *setting*. Jika suhu yang terbaca sudah mendekati suhu *setting*, maka *heater* akan menurunkan kinerjanya secara bertahap dengan bantuan kipas agar tidak terjadi *overshoot* suhu yang berlebih. Jika suhu sama dengan suhu *setting* maka proses inkubasi dapat dilakukan. Jika proses inkubasi telah selesai dilakukan, maka semua proses selesai dan alat dimatikan.

**2.4. Flowchart PID Ciancone Dry Bath Incubator**

Berikut merupakan diagram alir dengan metode PID *Ciancone* yang dirancang untuk dapat mengoptimalkan fungsi dari *dry bath incubator* secara otomatis:

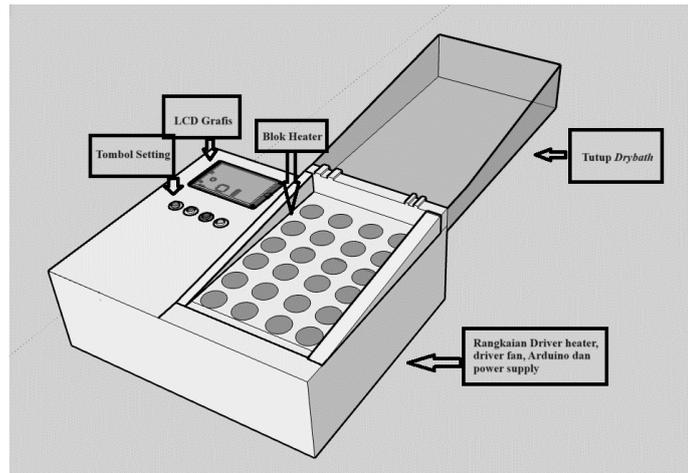


**Gambar 4.** Flowchart PID *Ciancone*

Pada Gambar 4 menjelaskan tentang diagram alir metode pengendali PID *Ciancone* yang digunakan di penelitian ini. Penelitian dimulai dengan mendesain rangkaian *dry bath incubator* kondisi sakelar tertutup dengan PID pada Matlab. Setelah itu, menentukan nilai dari Kp, Kd dan Ki dengan menggunakan metode *Ciancone*. Setelah itu, nilai Kp, Ki dan Kd dimasukkan ke dalam blok PID di Matlab kemudian rangkaian dijalankan. PID akan menghasilkan nilai *duty cycle* pada *input* PWM dari nilai *Vreff*, *Vin* dan R variasi yang diberikan. Apabila nilai *Vout* yang didapatkan belum tercukupi atau sesuai *setpoint* maka dilakukan evaluasi nilai Kp, Ki, Kd.

**2.5. Diagram Mekanik Alat**

Perangkat keras *dry bath incubator* untuk penelitian terlihat pada Gambar 5 yang mana ada beberapa gabungan perangkat keras.

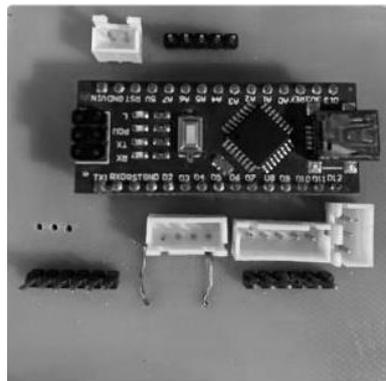


**Gambar 5.** Rancangan Perangkat Keras

Pada rancangan bentuk alat secara fisik akan dirancang beberapa bagian pada *dry bath incubator* seperti pada Gambar 5 terdapat blok *heater* yang berfungsi untuk memanaskan sampel sekaligus sebagai wadah sampel saat proses inkubasi dilakukan. Pada bagian samping terdapat *Liquid Crystal Display* (LCD) yang menampilkan hasil pembacaan suhu pada *dry bath incubator*. Selain LCD, terdapat pula saklar *on/off* untuk menghidupkan alat *dry bath incubator*. Pada bagian dalam unit terdapat rangkaian *driver*, kipas, sensor *pt100* dan *power supply* yang berfungsi untuk mengatur suhu sehingga *dry bath* dapat bekerja dengan baik.

## 2.6. Pembuatan Modul Perangkat Keras

### 2.6.1. Rangkaian Minimum Sistem Arduino Nano



**Gambar 6.** Rangkaian Arduino

Rangkaian Arduino atau rangkaian mikrokontroler berfungsi sebagai kontrol dan pengendali sistem alat *dry bath incubator*. Rangkaian Arduino akan menerima masukan dari pembacaan sensor suhu dan mengolahnnya sedemikian rupa sehingga *dry bath incubator* dapat terkontrol suhunya dengan sistem kontrol PID dan alat dapat difungsikan sebagai pengendali sistem pada alat. Pada alat *dry bath incubator* ini *output* dari Arduino akan mengaktifkan rangkaian *driver heater* dan *driver fan* sehingga *heater* dapat panas dan berfungsi dengan baik.

**2.6.2. Rangkaian Driver Heater dan Fan [8][9]**

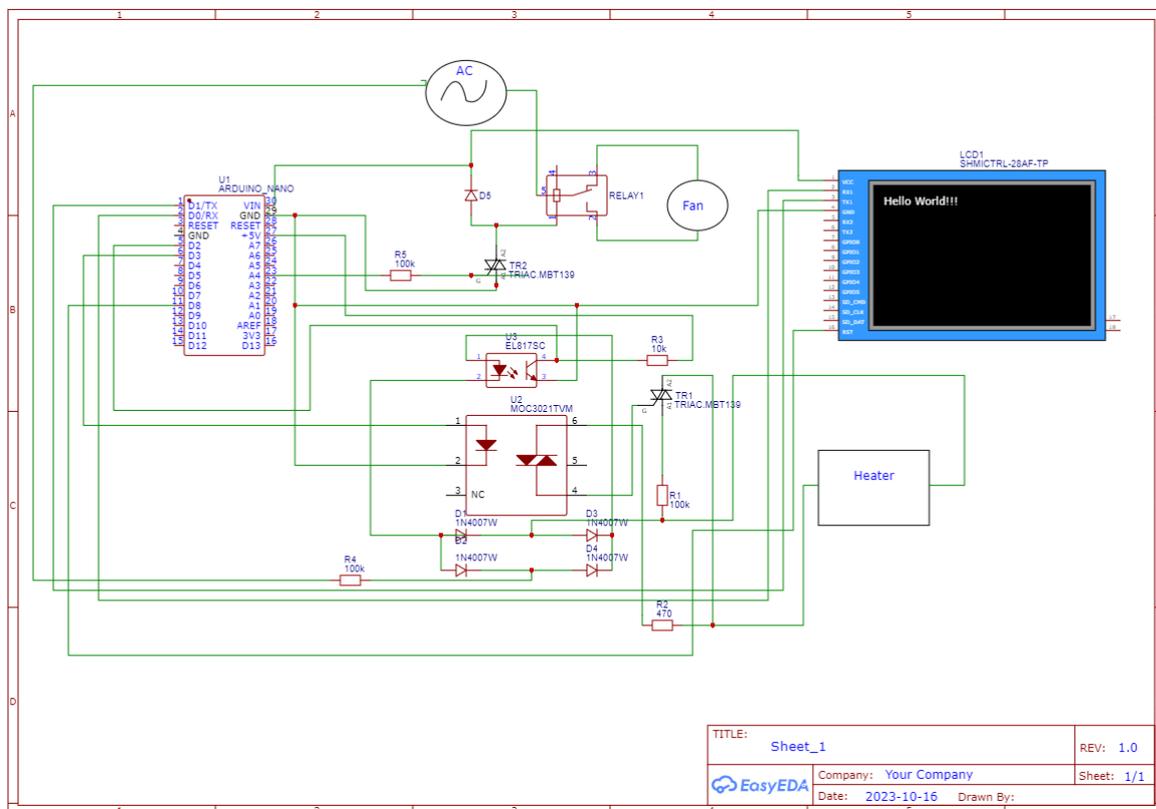


**Gambar 7.** Rangkaian Driver

Rangkaian ini berfungsi untuk mengatur daya yang diberikan ke *heater* atau elemen pemanas yang pada penelitian ini dibantu dengan sistem kontrol PID. Fungsi utama dari rangkaian ini adalah untuk memastikan pemanas bekerja sesuai dengan kebutuhan dan menghindari terjadinya *overheat* atau *underheat* yang dapat merusak sistem atau perangkat yang menggunakan pemanas atau *heater* tersebut.

Driver ini juga pengontrol kipas yang berfungsi untuk mendinginkan pemanas atau *heater* saat *overheat* sehingga proses suhu stabil akan lebih cepat atau mempercepat suhu alat menjadi suhu ruang setelah alat digunakan.

**2.6.3. Skematik Keseluruhan Rangkaian**



**Gambar 8.** Gambar Rangkaian Keseluruhan Alat Dry Bath Incubator

Rangkaian pada Gambar 8 adalah rangkaian keseluruhan alat dengan Arduino sebagai pengontrol seluruh rangkaian, Arduino akan memberikan *input* PID ke *driver heater* sehingga *driver* akan aktif dan mengontrol *heater* atau pemanas sesuai dengan *input* yang diberikan Arduino. Kipas akan diberi *input* oleh Arduino saat *heater* dideteksi memiliki suhu yang tidak sesuai dengan *setting (overheat)* atau saat *heater* sudah tidak digunakan, kipas akan membantu proses suhu kembali ke suhu ruang dengan lebih cepat. LCD grafis berfungsi menampilkan suhu aktual dari *heater*, *setting* alat dan *timer*.

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**3.1. Uji Suhu dengan Alat Perbandingan**

Pengujian alat *dry bath incubator* dilakukan dengan menggunakan alat perbandingan yaitu FLUKE. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan suhu sensor *thermocouple* pada alat *dry bath incubator* dengan digital multimeter FLUKE. Pengujian dilakukan pada *setting* suhu 0°C, 60°C, 80°C, 100°C dan 120°C dengan tujuan untuk mengetahui ketepatan suhu dari alat *dry bath incubator*, hasil dari pengujian suhu yaitu sebagai berikut:

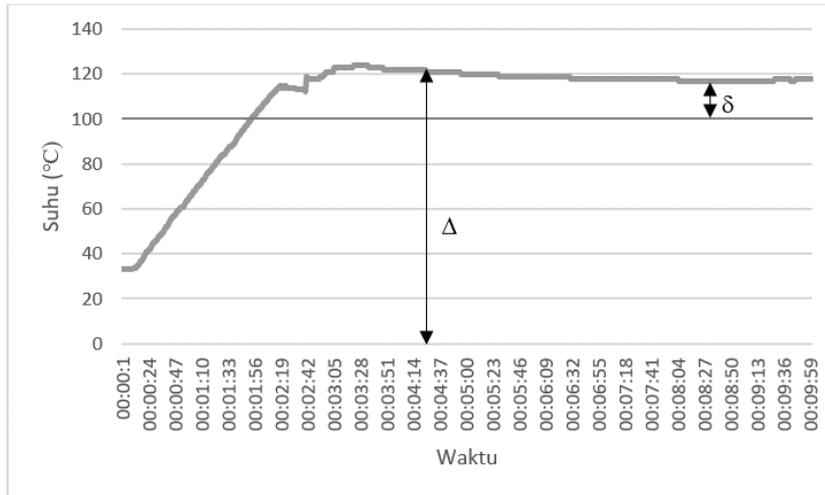
**Tabel 1.** Hasil Pengujian Suhu *Dry Bath Incubator*

<b>Setting Suhu (°C)</b>	<b>Dry Bath Incubator (°C)</b>	<b>Fluke ( Alat Perbandingan ) (°C)</b>	<b>Error / Selisih (°C)</b>
<b>0</b>	28	28,3	0,3
<b>60</b>	60	59,8	0,2
<b>80</b>	80	80,3	0,2
<b>100</b>	100	100,2	0,2
<b>120</b>	120	120,2	0,2

Berdasarkan Tabel 1 dapat diketahui bahwa ketika alat *dry bath incubator* dihidupkan dengan suhu awal alat *dry bath incubator* adalah 28°C dan suhu alat perbandingan FLUKE adalah 28.3°C sehingga diperoleh *error* sebesar 0.3°C. Pada saat alat *dry bath incubator* di *setting* di suhu 60°C suhu pada *dry bath incubator* adalah 60°C dan pada alat perbandingan FLUKE suhu yang tertampil adalah 59.8 °C. Dari hasil uji suhu yang dibandingkan dengan alat pembacaan FLUKE didapatkan nilai *error* rata-rata sebesar 0.2°C sehingga alat *dry bath incubator* memiliki suhu yang akurat.

**3.2. Uji Respon *Transient* Kendali PID Metode *Ciancone***

Pada proses ini akan dilakukan pengujian sistem kontrol PID dengan metode *Ciancone* dalam pencarian nilai P (Proposional), I (integral) dan D (*derivative*). Dalam percobaan ini didapatkan hasil pengukuran suhu *heater* dengan sistem *close loop, input step* berupa tegangan yang diberikan ke *driver heater* lalu keluaran sistem berupa suhu pada *block heater* direkam, hasilnya dapat dilihat pada grafik Gambar 9 :



**Gambar 9.** Grafik Keluaran Sistem *Ciancone* dengan *Setpoint* 100 °C

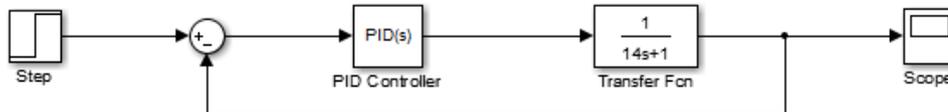
Dari grafik Gambar 9 dapat diketahui nilai dari  $K_p$ ,  $K_d$  dan  $K_i$  dengan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \Delta 28\% &= 70 \times 28\% = 19.6 + 30 = 49.6 & t_{28\%} &= 59 \text{ detik} \\ \Delta 63\% &= 70 \times 63\% = 44.1 + 30 = 74.1 & t_{63\%} &= 73 \text{ detik} \\ \tau &= 1.5 (t_{63\%} - t_{28\%}) = 1.5 (73 - 59) = 14 \\ \theta &= t_{63\%} - \tau = 73 - 14 = 59 \end{aligned}$$

Maka fungsi alih plant adalah :

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{K_p e^{-\theta s}}{\tau s + 1} = \frac{1 e^{-59s}}{14s + 1} \tag{1}$$

Dari fungsi alih diatas didapatkan *transfer function* sebagai berikut :



**Gambar 10.** *Transfer Function* Metode *Ciancone* [10]

Selanjutnya menghitung  $K_p$ ,  $T_i$  dan  $T_d$  menggunakan grafik *Ciancone correlations for set point*.

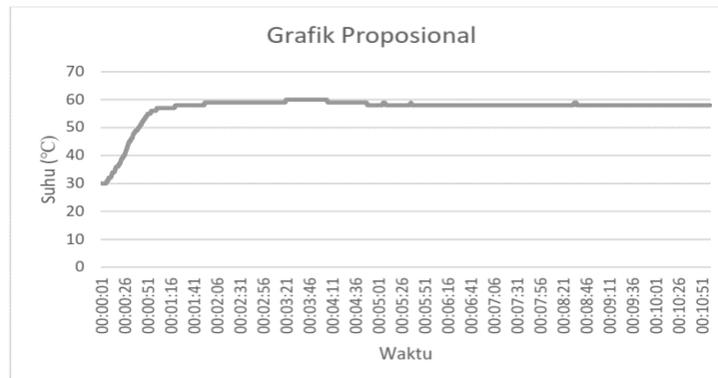
Untuk mencari nilai  $K_p$  didapatkan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} K_p &= \Delta/\delta = 123/17 = 5.08 & \text{Sehingga } K_i &= K_p/T_i = 5.08/57.72 = 0.088 \\ \text{Nilai } T_i/(\tau + \theta) &= 0.78 \text{ maka } T_i \text{ adalah} & \text{Nilai } T_d/(\tau + \theta) &= 0.06, \text{ maka nilai } T_d \text{ adalah} \\ T_i &= 0.78 (\tau + \theta) = 0.78 (14 + 59) = 56.94 & T_d &= 0.06(\tau + \theta) = 0.06 (14 + 59) = 4.38 \\ \text{Sehingga } K_d &= K_p/T_d = 5.08/4.38 = 1.16 \end{aligned}$$

Setelah mengetahui nilai dari  $K_p$ ,  $K_d$  dan  $K_i$  selanjutnya hasil uji respon akan disajikan dalam bentuk grafik sehingga diketahui nilai  $T_S$  (*setting time*)  $T_P$  (*Peak Time*),  $T_R$  (*Rise Time*),  $M_P$  (*overshoot*) dari sistem kontrol PID.

**3.2.1. Uji Sistem dengan Kontrol Proposional dan Setpoint 60°C**

Gambar 11 menunjukkan grafik hasil respon *transient* dengan kendali P dan *setpoint* 60 °C.

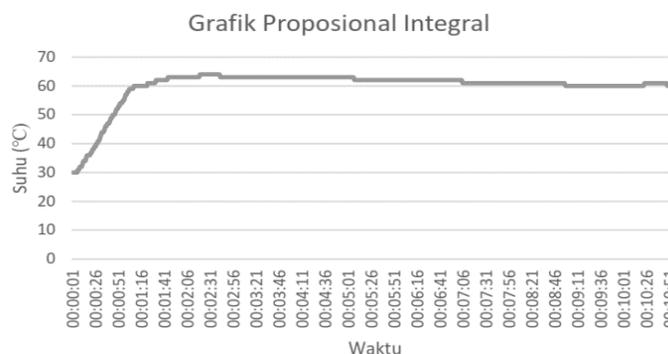


**Gambar 11.** Grafik Keluaran Kontrol P Metode *Ciancone* dengan Suhu 60°C

Dari grafik Gambar 11 dapat diketahui bahwa terdapat *overshoot* sebesar 2 °C dengan suhu stabil sebesar 58°C menunjukkan bahwa respons sistem tidak mencapai *setpoint* namun pada detik ke 290 suhu turun 2 °C. Dengan demikian didapatkan nilai MP sebesar 3.33% dan diketahui nilai *rise time* sekitar 203 detik menggambarkan waktu yang diperlukan oleh sistem untuk mencapai sekitar 100% dari nilai *setpoint*. Pada umumnya, nilai *rise time* yang lebih kecil menunjukkan respons sistem yang lebih cepat. Kemudian dari grafik juga diketahui nilai *time delay* sekitar 35 detik menunjukkan adanya keterlambatan dalam respons sistem. Puncak respons atau *Peak Time* yang mencapai 293 detik adalah waktu yang dibutuhkan oleh sistem untuk mencapai nilai maksimum setelah mengalami *overshoot*. Pada percobaan ini sistem hanya diberikan kontrol proposional dengan hasil suhu stabil di 58 °C yang berarti sistem tidak mencapai *setpoint* dan didapatkan *settling time* yang cukup lama yaitu di > 651 detik.

**3.2.2. Uji Sistem dengan Kontrol Proposional Integral dan Setpoint 60°C**

Gambar 12 menunjukkan hasil respon *transient* dengan kendali PI dan *setpoint* 60°C



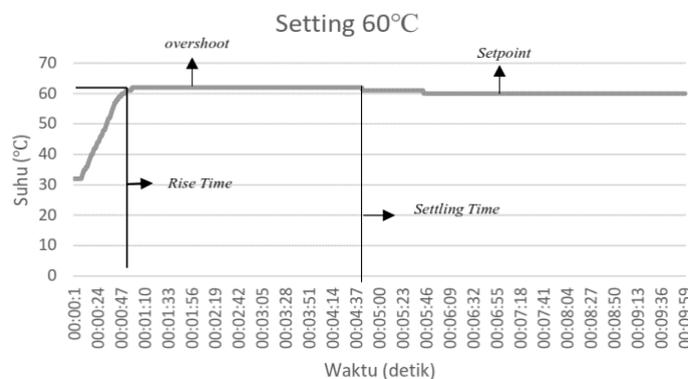
**Gambar 12.** Grafik Proposional *Integral* Metode *Ciancone* dan Suhu 60°C

Dari grafik Gambar 12 dapat diketahui bahwa terdapat *overshoot* sebesar 4 °C menunjukkan bahwa respons sistem mencapai *setpoint* dan sedikit melebihi nilainya

dengan demikian didapatkan nilai MP sebesar 3.33% dan diketahui nilai *rise time* sekitar 67 detik menggambarkan waktu yang diperlukan oleh sistem untuk mencapai sekitar 100% dari nilai *setpoint*. Pada umumnya, nilai *rise time* yang lebih kecil menunjukkan respons sistem yang lebih cepat. Kemudian dari grafik juga diketahui nilai *time delay* sekitar 35 detik menunjukkan adanya keterlambatan dalam respons sistem. Puncak respons atau *Peak Time* yang mencapai 293 detik adalah waktu yang dibutuhkan oleh sistem untuk mencapai nilai maksimum setelah mengalami *overshoot*. Pada percobaan ini dilakukan pemberian kontrol proporsional dan integral dari hasil dapat disimpulkan bahwa sistem mengalami kenaikan *overshoot* yaitu sebesar 4°C namun suhu mencapai *setpoint* dengan waktu 648 detik.

### 3.2.3. Uji Sistem dengan Kontrol PID dan *Setpoint* 60°C

Gambar 13 menunjukkan hasil respon *transient* kendali PID pada *setting* suhu 60°C



**Gambar 13.** Grafik Keluaran Kontrol PID Metode *Ciancone* dengan Suhu 60°C

Dari Gambar 13 dapat diketahui bahwa terdapat *overshoot* sebesar 2 °C menunjukkan bahwa respons sistem mencapai *setpoint* dan sedikit melebihi nilainya dengan demikian didapatkan nilai MP sebesar 3.33% dan diketahui nilai *rise time* sekitar 57 detik menggambarkan waktu yang diperlukan oleh sistem untuk mencapai sekitar 100% dari nilai *setpoint*. Pada umumnya, nilai *rise time* yang lebih kecil menunjukkan respons sistem yang lebih cepat. Kemudian dari grafik juga diketahui nilai *time delay* sekitar 28 detik menunjukkan adanya keterlambatan dalam respons sistem. Puncak respons atau *Peak Time* yang mencapai 60 detik adalah waktu yang dibutuhkan oleh sistem untuk mencapai nilai maksimum setelah mengalami *overshoot*. Pada percobaan ini sistem diberi kontrol PID dan dapat disimpulkan nilai *overshoot* mengalami penurunan menjadi 2 °C, suhu mencapai *setpoint* dan *setting time* di 347 detik.

## 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil pengujian sistem kendali P, kendali PI, dan Kendali PID dengan menggunakan *tunning* metode *Ciancone* pada alat *dry bath incubator* dengan suhu 60 °C didapatkan kesimpulan sebagai berikut : Kendali tidak sampai menuju *setpoint* dan memerlukan *rise time* sekitar 203 detik, kendali PI respon sampai menuju *setpoint* dan waktu *rise time* 67 detik, dan kendali PID sampai menuju *setpoint* dengan memerlukan waktu *rise time* 57 detik. Dengan demikian kendali PID pada alat *dry bath incubator* lebih baik bila dibandingkan kendali P dan PI. Pengembangan lebih lanjut dan penyesuaian parameter

diperlukan untuk mencapai keseimbangan optimal antara respons cepat dan stabilitas suhu yang diinginkan dengan menggunakan aktuator yang lebih bagus.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Zhou, Xia, et al., "Bacteria detection: from powerful SERS to its advanced compatible techniques," *Advanced Science*, 2020, 7.23: 2001739.
- [2] P. P. Sudarmono, "Mikrobioma: Pemahaman Baru tentang Peran Mikroorganisme dalam Kehidupan Manusia," *eJournal Kedokteran Indonesia*, vol. 4, no. 2, Sep. 2016, doi: 10.23886/ejki.4.6291.71-5
- [3] "Dry Bath Incubator BDIB-103 Operation Manual", BIOLAB SCIENTIFIC LTD. 3660 Midland Avenue, Suite 300, Toronto, Ontario M1V 0B8 Canada
- [4] L. D. P. A. PUTRA, "PROTOTYPE DRY BATH INCUBATOR DENGAN SUHU 37 C," 2021.
- [5] D. A. Tyas and R. Sumiharto, "Purwarupa Sistem Kendali PID: Studi Kasus Kendali Suhu Ruang," *IJEIS*, May 2013.
- [6] H.I. Tri, et al., "Hotplate Magnetic Stirrer Dilengkapi Pengatur Waktu, Suhu dan Kecepatan Melalui LCD Nextion," *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 2024, 12.1: 103-112.
- [7] M. Muhtar, "Kendali suhu dan karbon dioksida pada closed housebroiler berbasis bluetooth & pid," *JREC (Journal of Electrical and Electronics)*, 2018, 6.2: 81-90.
- [8] H. NUGROHO; E. SARWONO; A. RINALDI, "Aplikasi Metode Spektrofotometri pada Klasifikasi Gas Karbon Monoksida (CO) dan Uap Bahan Bakar Petrodiesel (C<sub>14</sub>H<sub>30</sub>)," *Progressive Physics Journal*, 2020, 1.1: 1-14.
- [9] S. A. A. Syah, et al., "Rancang Bangun Alat Soft Starter Untuk Mengurangi Lonjakan Arus Starting," *Journal of Engineering and Innovation*, 2023, 1.1: 6-10.
- [10] M. Dwiyanti and K. N. Moro, "TUNING PARAMETER PID DENGAN METODE CIANCONE PADA PLANT HEAT EXCHANGER."