

## DESAIN SISTEM KENDALI SUHU RUANG PEMANAS DENGAN METODE ULTIMATE CYCLE

Muhammad Amiruddin<sup>1</sup>, Imadudin Harjanto<sup>2</sup>, Bambang Hadi Kunaryo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Teknik Elektro Fakultas Teknik dan Informatika Universitas PGRI Semarang  
Jalan Sidodadi Timur no.24 Semarang e-mail: amiruddin@upgris.ac.id

<sup>2</sup>Teknik Elektro Fakultas Teknik dan Informatika Universitas PGRI Semarang  
Jalan Sidodadi Timur no.24 Semarang e-mail: imadudinharjanto@upgris.ac.id

<sup>3</sup>Teknik Elektro Fakultas Teknik dan Informatika Universitas PGRI Semarang  
Jalan Sidodadi Timur no.24 Semarang e-mail: bhkunaryo@upgris.ac.id

### ARTICLE INFO

Article history:

Received : 30 – Juli - 2024

Received in revised form : 31 – Juli - 2024

Accepted : 22 – Agustus - 2024

Available online : 1 – September - 2024

### ABSTRACT

A room heating device will be equipped with a temperature control system that will be used to regulate the room temperature so that it is stable at a certain value. Before designing the hardware and setting the control methods that will be used, to simplify the design, a system response simulation is first carried out. In order to simulate the response of the temperature control system in the heating room, a mathematical model of the heating room and the temperature control system used is needed. Therefore, an approach using the FOPDT method is used to determine the mathematical model of the heating space. After obtaining a suitable mathematical model for the heating room in this research case, it is continued by providing a control gain (P-I-D) so that the performance of the heating room control system meets the requirements. To get the gain value (P-I-D), tuning is carried out using the ultimate cycle method. Providing  $K_p=0.06$  to this temperature control system provides a steady state error performance of  $5^{\circ}\text{C}$ , rise time of 247 seconds and overshoot of  $10^{\circ}\text{C}$ . The addition of  $1/T_i = 0.00133$  and the change in  $K_p = 0.027$  resulting from ultimate cycle tuning, have the effect of eliminating the steady state error but increasing the rise time to 530 seconds. The addition of  $T_d = 112.5$  and changes in  $1/T_i = 0.0022$  and  $K_p = 0.036$  resulting from ultimate cycle tuning, have the effect of reducing the rise time to 380 seconds, but increasing the overshoot to  $18^{\circ}\text{C}$

**Keywords:** FOPDT, ultimate cycle, PID tuning, temperature controller.

### 1. PENDAHULUAN

Sistem kendali dibutuhkan untuk mengatur respon sistem agar sesuai dengan kebutuhan. Sebagai contoh sebuah ruang pemanas yang diharapkan dapat mengendalikan suhu ruangan stabil di nilai target tertentu, sehingga ruang pemanas tersebut perlu dilengkapi dengan sistem kendali. Pada penelitian ini

digunakan ruang pemanas berdimensi 80 cm X 50 cm X 150 cm terbuat dari logam, menggunakan sumber panas dari api berbahan bakar LPG, menggunakan sebuah pematik api elektrik dan solenoid valve untuk mengatur aliran gas LPG[7]. Sebuah modul pengendali akan digunakan yang akan mengendalikan suhu dari ruang pemanas pada target tertentu didalam rentang kemampuan ruang pemanas dalam mempertahankan suhu di dalam ruangan.

Pengendali P-I-D terbukti dapat digunakan di berbagai aplikasi sistem kendali seperti pada penelitian di bidang pengolahan bahan pangan, yaitu penelitian pengendalian suhu dalam pengolahan kitosan berbahan kitin limbah cangkang kepiting, membutuhkan sistem pengendalian suhu dengan pengendali P-I-D dengan suhu target  $100^{\circ}\text{C}$ [3]. Pada penelitian tersebut, menggunakan penalaan P-I-D dengan metode ziegler-nichols. Pengendali P-I-D juga digunakan pada penelitian di industri, mengendalikan suhu dalam sebuah Reaktor Alir Tangki Berpengaduk[4]. Pada penelitian ini, membuat model steady state dari reaktor kemudian diubah menjadi model dynamic. Setelah mendapatkan model dynamic maka sistem diberikan pengendali P-I-D dan dilakukan pengujian atas respon sistemnya. Pengendali PID adalah perangkat standar untuk aplikasi industri karena mudah digunakan dan handal. Namun sulit untuk mengkarakterisasi parameter pengontrol PID secara akurat dan proses pengendalian suhu dapat diidentifikasi dengan metode FOPDT[1].

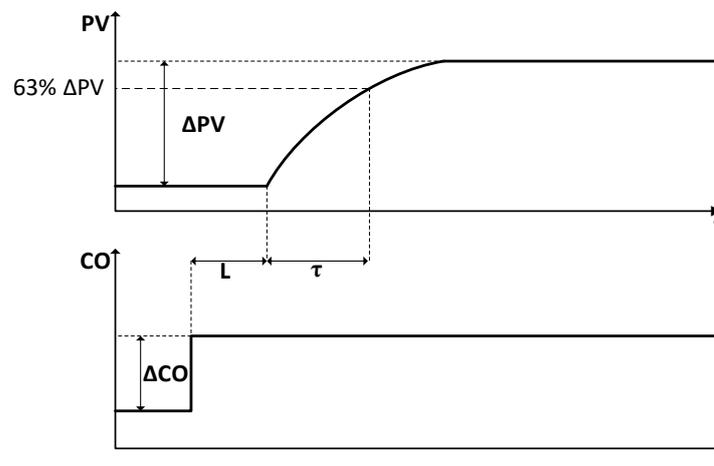
Pada penelitian ini, sebuah ruang pemanas akan dibuat model matematis dengan pendekatan metode FOPDT dengan memberikan uji bump test kepada ruang pemanas yang merupakan sistem open loop. Kemudian setelah didapat model matematis dari pendekatan metode FOPDT, maka sistem diubah menjadi sistem close loop dengan memberikan umpan balik dari elemen pengukuran sehingga sistem kendali suhu ruang pemanas. Pengendali P-I-D diberikan kepada sistem kendali suhu ruang pemanas yang sebelumnya akan dilakukan penalaan gain dan konstanta yang diperlukan yaitu  $K_p$ ,  $T_i$  dan  $T_d$  dengan metode ultimate cycle. Kemudian dilakukan pengujian perubahan respon sistem pengaruh dari pemberian gain dan konstanta dari pengendali.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Perancangan sistem kendali suhu ruang pemanas ini menggunakan dua metode yaitu metode First Order Plus Dead Time (FOPDT) untuk memodel matematiskan ruang pemanas berdasarkan respon sistem open loopnya dan metode ultimate cycle untuk penalaan konstanta dan gain pengendali yang akan digunakan.

### 2.1. First Order Plus Dead Time

Sebuah sistem yang mempunyai keluaran dalam keadaan stabil dapat didekati dengan model matematis dengan metode First Order Plus Dead Time (FOPDT) yang mempunyai 3 buah parameter. Sebagai ilustrasi sebuah respon sistem yang mempunyai keluaran dapat dilihat pada Gambar 2.1. terdapat 3 parameter yang dibutuhkan dalam pendekatan FOPDT yaitu,  $L$  tunda transportasi,  $K$  Gain statis proses dan  $\tau$  konstanta waktu.



Gambar 2.1. Respon sistem terhadap uji bump test pada metode FOPDT[5]

Untuk mendapat respon sistem seperti pada Gambar 2.1, sistem terlebih dahulu dilakukan bump test, pemberian masukan sinyal step (CO) pada sistem loop terbuka. Tunda Transportasi ( $L$ ), adalah waktu yang

dibutuhkan oleh sistem sejak diberikannya masukan atau perubahan masukan sampai sistem memberikan respon memberikan respon berupa perubahan nilai proses (PV). Konstanta waktu ( $\tau$ ) adalah waktu yang dibutuhkan oleh sistem setelah sistem memberikan respon terhadap masukan sampai dengan  $\pm 63\%$  dari nilai stabil dari respon. Gain statis proses (K) adalah rasio dari nilai respon proses sistem dari perubahan nilai masukan sistem yang dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut,

$$K = \frac{\Delta PV}{\Delta CO} = \frac{PV_1 - PV_0}{CO_1 - CO_0} \quad (1)$$

Setelah mendapat ketiga parameter yang dibutuhkan yaitu K, L dan  $\tau$ , maka persamaan dari sistem menjadi,

$$G(s) = e^{-Ls} \frac{K}{\tau s + 1} \quad (2)$$

## 2.2. Tuning pengendali P-I-D metode Ultimate cycle

Tuning dilakukan untuk mengatur nilai gain pengendali sehingga respon memberikan nilai optimal sesuai dengan kebutuhan pengendalian. Dengan metode ultimate cycle, tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut,

- Tahap awal pengaturan adalah mengatur sistem yang sudah dalam menjadi sistem close loop, dan hanya diberikan gain pengendali proporsional ( $K_p$ ).
- Atur besar nilai  $K_p$  sampai terjadi osilasi yang memiliki waktu periodik (T). Catat nilai T dan nilai  $K_p$
- Kemudian nilai  $K_p$  dan T tersebut dijadikan nilai acuan yaitu  $K_{PU}$  dan  $T_U$ .
- Hitung nilai pengontrol  $K_p$ ,  $T_i$  dan  $T_d$  dengan acuan nilai  $K_{PU}$  dan  $T_U$

Nilai Gain  $K_p$ , konstanta  $T_i$  dan  $T_d$  dihitung menggunakan rumus pada Tabel 2.1 sebagai berikut,

Tabel 2.1. Rumus perhitungan konstanta dan gain metode ultimate cycle [6]

Tipe pengendali	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	0.5 $K_{pu}$		
P-I	0.45 $K_{pu}$	$T_u/1.2$	
P-I-D	0.6 $K_{pu}$	$T_u/2$	$T_u/8$

## 3. METODOLOGI PENELITIAN

Beberapa tahapan yang dilakukan dalam perancangan sistem kendali ruang pemanas pada penelitian ini adalah :

- Tahap pertama yaitu mengambil data respon open loop dari ruang pemanas yang menjadi objek penelitian ini, yaitu dengan melakukan uji bump test, memberikan masukan sebesar 50% dari rentang kemampuan maksimal dari masukannya. Uji bump test dilakukan pada sistem loop terbuka tanpa umpan balik. Dari respon sistem yang dihasilkan, maka dapat diukur nilai tunda transportasi (L), konstanta waktu ( $\tau$ ) dan dapat dihitung nilai gain statis proses (K). dengan rumus (1). Setelah mendapat nilai ketiga parameter tersebut, maka dapat disusun menjadi persamaan matematis sistem ruang pemanas dengan metode FOPDT sesuai rumus (2).
- Tahap setelah dilakukan pendekatan dengan metode FOPDT, maka perlu diketahui kedekatan data, antara data aktual eksperimen dan data hasil simulasi sistem. Kedekatan data dapat dihitung nilai koefisien korelasi (r). Untuk mengetahui kedekatan data antara data simulasi dan data aktual hasil uji bump test, sehingga dapat diketahui validitas pendekatan matematis hasil metode FOPDT. Kedekatan data diukur dari perhitungan koefisien korelasi (r) dengan rumus,

$$r = \sqrt{\frac{(\sum_i (y_i - \bar{y}))^2 - \sum_i (y_i - x_i)^2}{\sum_i (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

r	= koefisien korelasi
$y_i$	= data aktual uji bump test
y	= rata-rata data aktual uji bump test
$x_i$	= nilai data simulasi dengan metode pendekatan

Semakin dekat data antara data simulasi dan data aktual eksperimen, maka nilai r semakin mendekati 1. Sehingga pemodelan matematis dengan metode FOPDT semakin valid. Setelah kita mendapat model matematis ruang pemanas.

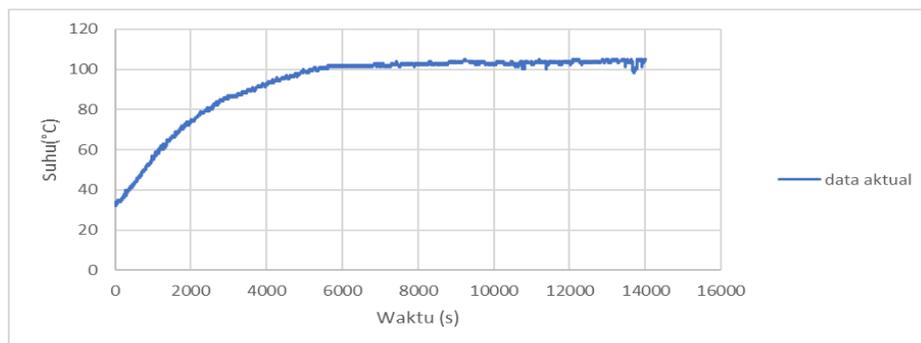
- Untuk merancang sistem kendali untuk ruang pemanas maka dilanjutkan dengan mengubah sistem tersebut menjadi *close loop* dan diberikan konstanta dan gain pengendali dengan metode penalaan ultimate cycle sesuai perhitungan rumus pada Tabel 2.1.
- Langkah awal dalam penalaan konstanta dan gain pengendali adalah pemberian gain proporsional ( $K_p$ ). Dari pemberian gain proporsional, sistem akan memberikan respon berupa perubahan berbagai parameter yaitu,
  - o waktu naik yaitu waktu yang dibutuhkan dari nilai awal sampai dengan nilai stabilnya.
  - o overshoot yaitu selisih nilai simpangan tertinggi dari respon sistem dengan nilai set point-nya.
  - o periode osilasi (T) yaitu jarak waktu antara puncak nilai simpangan tertinggi pertama dan yang kedua.
  - o kesalahan keadaan tunak yaitu selisih nilai stabil dengan nilai set point-nya.
- Sebagai perbandingan respon sistem, agar dapat dipilih respon yang sesuai dengan yang diinginkan dilihat dari nilai berbagai parameter yang sudah disebutkan diatas, langkah berikutnya dilanjutkan dengan penambahan dan perubahan konstanta  $T_i$  dan  $T_d$  dan gain  $K_p$  untuk sistem pengendali P-I dan P-I-D sesuai dengan tabel 2.1.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari penelitian ini, akan dibahas model matematis ruang pemanas hasil dari pendekatan dengan metode FOPDT dan respon sistem kendali suhu ruang pemanas hasil penalaan dengan metode ultimate cycle.

##### 4.1 Hasil pendekatan dengan metode FOPDT

Tahapan pertama yaitu memodelkan perangkat keras dari ruang pemanas yang menjadi obyek penelitian ini. Sebuah ruang pemanas pertama kali diuji bump test, diberi masukan sebesar 50% kemampuan maksimal dari masukannya. Hasil dari bump test dapat dilihat dari grafik pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Hasil dari Bump test ruang pemanas

Dari data pada grafik tersebut, dapat diketahui parameter yang dibutuhkan untuk menghitung parameter pada persamaan dengan metode FOPDT. Dari grafik dapat diukur nilai parameter sebagai berikut,

L = 190 detik

$\tau$  = 1900 detik

Sedangkan untuk parameter K, dapat dihitung sesuai rumus (1), diketahui dari grafik nilai,

PV1 = 103.74°C

PV0 = 33°C

$\Delta CO$  = 50%

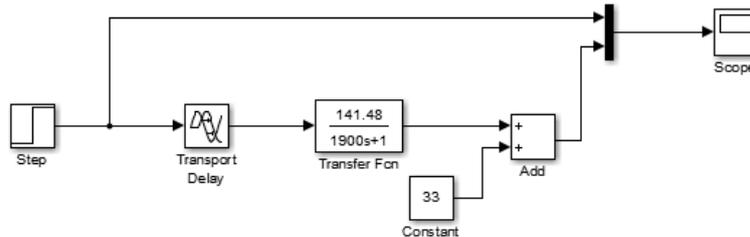
Maka nilai K,

$$K = \frac{\Delta PV}{\Delta CO} = \frac{103.74 - 33}{0.5} = 141.48$$

Sehingga persamaan matematis dari ruang pemanas sesuai dengan rumus (2) menjadi,

$$G(s) = e^{-190s} \frac{141.48}{1900s + 1}$$

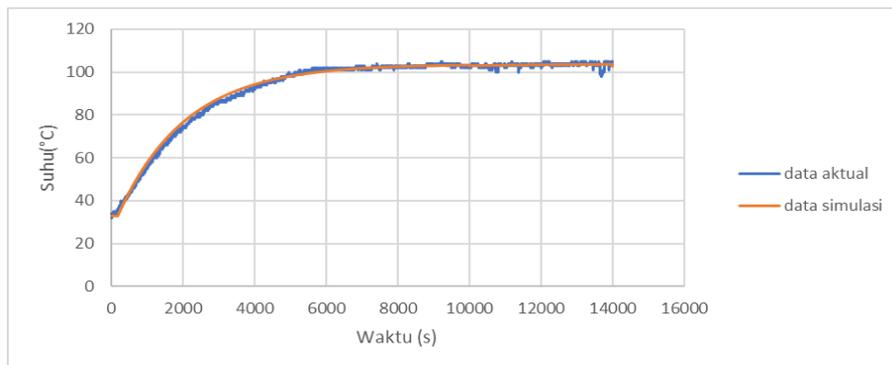
Dari persamaan dapat dibuat blok diagram seperti yang terlihat pada Gambar 4.2, dan dapat disimulasikan untuk mendapatkan respon sistemnya.



Gambar 4.2. Hasil pemodelan matematis dari ruang pemanas

**4.2 Pengujian Koefisien Korelasi**

Pengujian sistem ruang pemanas dengan input sebesar 50% dari kemampuan maksimal dan dengan suhu inisial sebesar 32°C secara simulasi. Setelah diketahui hasil simulasi, maka dilakukan pengecekan dengan perhitungan korelasi antara data bumptest perangkat keras dan data simulasi seperti pada Gambar 4.3.

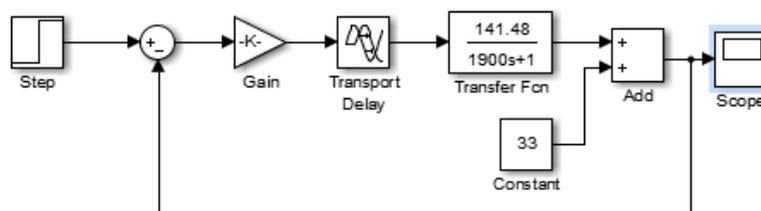


Gambar 4.3. Perbandingan data aktual hasil bumptest dan data simulasi.

Terhitung nilai koefisien korelasi (r) antara kedua data tersebut sebesar 0.996. Dengan nilai koefisien korelasi sebesar itu (mendekati nilai 1), maka disimpulkan bahwa persamaan matematis hasil perhitungan FOPDT dapat digunakan untuk selanjutnya dalam perancangan sistem kendali suhu ruang pemanas.

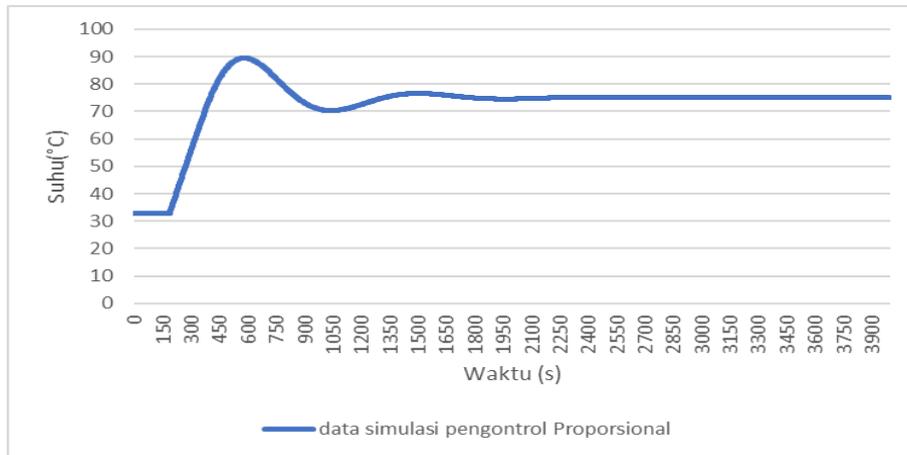
**4.3 Respon sistem kendali suhu pengendali Proporsional**

Setelah itu, persamaan dari ruang pemanas yang merupakan sistem open loop, diubah menjadi sistem close loop dengan memberikan umpan balik dan diberikan sebuah pengontrol proporsional seperti pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4. Sistem kendali suhu dengan pengendali P

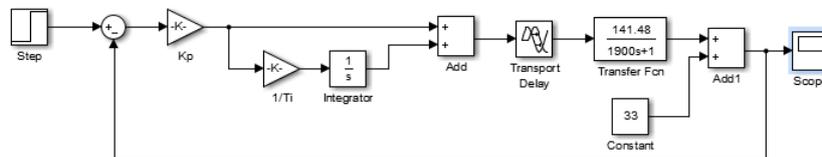
Pada sistem diatas diberikan set point sebesar 80°C dan gain  $K_p = 0.06$ . Respon sistem yang terjadi adalah seperti pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5. Respon sistem pengendali P

Terlihat pada grafik respon sistem close loop mulai terjadi osilasi dengan periode osilasi ( $T$ ) sebesar 900 s . Respon mengalami simpangan tertinggi sebesar 90°C sehingga nilai overshoot pertama sebesar 10°C, nilai suhu pada keadaan stabil (keadaan tunak) sebesar 75°C, sehingga kesalahan keadaan tunak (steady state error) sebesar 5°C dan mempunyai waktu naik sebesar 247 second.

#### 4.4 Respon sistem kendali suhu pengendali Proporsional Integral



Gambar 4.6. Sistem kendali suhu dengan pengendali P-I

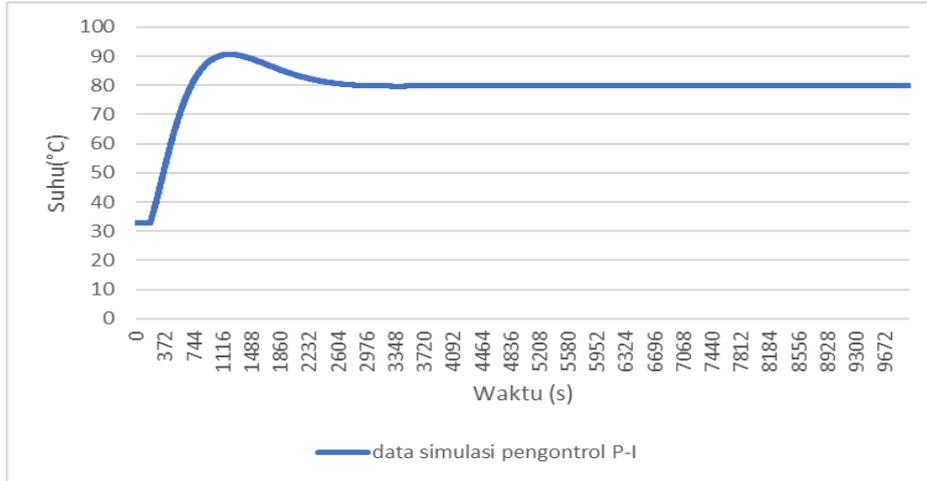
Selanjutnya adalah penambahan gain pengendali Integral, pada sistem ditambahkan sebuah konstanta  $1/T_i$  seperti pada Gambar 4.6. Perhitungan nilai  $T_i$  dipengaruhi nilai periode osilasi  $T$  pada saat sistem diberikan pengendali Proporsional yaitu sebesar 900 second dihitung dengan rumus yang tertera pada Tabel 2.1, sehingga nilai  $1/T_i$  adalah sebesar,

$$T_i = \frac{900}{1.2} = 750$$

$$1/T_i = \frac{1}{750} = 0.00133$$

Perubahan nilai  $K_p$  juga dilakukan sesuai dengan rumus metode ultimate cycle menjadi,

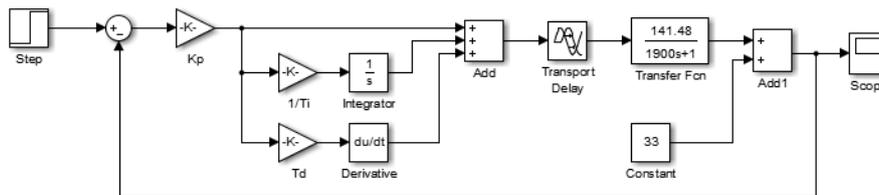
$$K_p = 0.45 \times 0.06 = 0.027$$



Gambar 4.7. Respon sistem pengendali P-I

Terlihat pada grafik pada Gambar 4.7, terlihat pengaruh dari pengendali Integral, sistem memberikan respon simpangan tertinggi sebesar 90°C, namun dapat nilai keadaan tunak sebesar 80°C, sehingga pada sistem ini tidak ada lagi error keadaan tunak dan nilai overshoot pertama sebesar 10°C. Waktu naik yang dibutuhkan sistem ini meningkat menjadi 530 sekon.

**4.5 Respon sistem kendali suhu pengendali Proporsional Integral Derivatif**



Gambar 4.8. Sistem kendali suhu dengan pengendali P-I-D

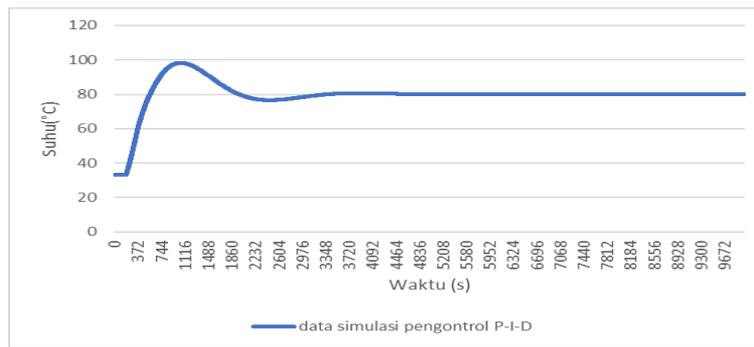
Penambahan pengontrol derivatif yaitu dengan penambahan konstanta Td sehingga sistem menjadi seperti pada Gambar 4.8. Pada sistem juga dilakukan perubahan nilai gain Kp dan konstanta 1/Ti sesuai dengan rumus metode ultimate cycle untuk sistem pengendali P-I-D pada tabel 2.1. Perhitungan konstanta dan gain menjadi,

$$K_p = 0.6 \times 0.06 = 0.036$$

$$T_i = \frac{900}{2} = 450$$

$$1/T_i = \frac{1}{450} = 0.0022$$

$$T_d = \frac{900}{8} = 112.5$$



Gambar 4.9. Sistem kendali suhu pengendali P-I-D

Terlihat pada grafik pada Gambar 4.9, terlihat pengaruh dari pengontrol Integral, sistem memberikan respon simpangan tertinggi masih sebesar  $98^{\circ}\text{C}$ . Sistem ini dapat menghasilkan nilai stabil pada keadaan tunak sebesar  $80^{\circ}\text{C}$ , sehingga pada sistem ini tidak ada lagi error keadaan tunak dan nilai overshoot pertama sebesar  $18^{\circ}\text{C}$ . Waktu naik yang dibutuhkan sistem ini berkurang menjadi 380 detik.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Pendekatan dengan metode FOPDT untuk ruang pemanas pada penelitian ini dapat memberikan persamaan model matematis yang sesuai dibuktikan dengan perhitungan nilai koefisien korelasi ( $r$ ) sebesar 0.996. Dengan metode ultimate cycle, pemberian  $K_p=0.06$  pada sistem kendali suhu ini memberikan unjuk kerja error keadaan tunak sebesar  $5^{\circ}\text{C}$ , waktu naik sebesar 247 detik dan overshoot sebesar  $10^{\circ}\text{C}$ . Penambahan  $1/T_i = 0.00133$  dan perubahan  $K_p = 0.027$  hasil dari penalaan ultimate cycle, memberikan pengaruh menghilangkan error keadaan tunak namun meningkatkan waktu naik menjadi 530 detik. Penambahan  $T_d = 112.5$  dan perubahan  $T_i = 0.0022$  dan  $K_p = 0.036$  hasil penalaan ultimate cycle, memberikan pengaruh pada berkurangnya waktu naik menjadi 380 detik, namun meningkatkan overshoot menjadi  $18^{\circ}\text{C}$ .

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Singh, "First Order Plus Dead Time (FOPDT) model acquired for temperature process with Conventional PID," *Journal of Applied Physics*, vol. 14, no. 1, pp. 75-80, 2022.
- [2] C. I. Muresan and C. M. Ionescu, "Generalization of the FOPDT Model for Identification," *Procesess*, vol. 8, no. 6, p. 682, 2020.
- [3] M. Andrian, A. Kurniawan and I. Saukani, "Sistem Kendali Suhu Menggunakan Metode PID dalam Proses Deasetilasi Kitin," *TEKTONIK: Jurnal Ilmu Teknik*, vol. 1, no. 2, pp. 131-137, 2024.
- [4] Z. Nasrul, Y. Roja and N. Sylvia, "Aplikasi Kontrol PID pada Reaktor Pabrik Asam Formiat dengan Kapasitas 100.000 Ton/Tahun," *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, vol. 7, no. 2, pp. 135-152, 2019.
- [5] I. Setiawan, *Kontrol PID untuk Proses Industri*, Semarang: Elex Media Komputindo, 2008.
- [6] W. Bolton, *Sistem Instrumentasi dan Sistem Kontrol*, Jakarta: Erlangga, 2006.
- [7] Fachrudin, A. Kusmantoro and M. Amiruddin, "Perancangan Perangkat Keras Pengereng Pakaian," *JETI*, pp. 1-4, 2024.