

PERANCANGAN KONTROL SUHU BERBASIS PID DENGAN METODE ZIEGLER NICHOLS 1 PADA OVEN LISTRIK

Muhammad Irsyad Annafi^{1*)}, Abdul Syakur² dan Ajub Ajulian Z.M³

¹²³Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

*) Email: annafiirsyad@gmail.com

Abstrak

Saat ini banyak sekali oven listrik portabel yang menawarkan oven dengan kendali suhu namun kebanyakan masih menggunakan kontrol *on/off* saja. Karena kurangnya kendali yang optimal dalam oven listrik pada makalah ini dirancang kendali suhu pada oven listrik portabel dengan menggunakan sensor suhu, mikrokontroler Arduino Uno sebagai otak pengendalian utama. Metode kontrol yang digunakan untuk mengendalikan suhu pada purwarupa pengering pakan ikan adalah PID (*Proporsional Integral Derivative*). Pada pengujian respon sistem kontrol pada oven listrik portabel dengan *setpoint* suhu tetap yang bernilai 80°C, 100°C, dan 120°C, kontroler PID yang dirancang mampu mencapai dan mempertahankan suhu terhadap *setpoint* suhu yang diberikan. Pada *setpoint* suhu 80°C dapat mencapai keadaan tunak dalam kurun waktu (*Ts*) 110 detik, dan memiliki *error steady state* sebesar 1,25%, pada *setpoint* suhu 100°C dapat mencapai keadaan tunak dalam kurun waktu (*Ts*) 168 detik, dan memiliki *error steady state* sebesar 1,75%, dan pada suhu 120°C dapat mencapai keadaan tunak dalam kurun waktu (*Ts*) 247 detik, dan memiliki *error steady state* sebesar 1%.

Kata Kunci: Oven Listrik, PID kontrol, suhu

Abstract

*Currently, there are many portable electric ovens that offer ovens with temperature control, but most still only use on/off controls. Due to the lack of optimal control in electric ovens in this Final Project a temperature control is designed for portable electric ovens using temperature sensors, Arduino Uno microcontroller as the main control brain. The control method used to control the temperature of the fish feed dryer prototype is PID (Proportional Integral Derivative). In testing the response of the control system on a portable electric oven with a fixed temperature setpoint of 80°C, 100°C and 120°C, the designed PID controller is able to reach and maintain the temperature at a given temperature setpoint. At a temperature setpoint of 80°C it can reach a steady state within 110 seconds (*Ts*), and has a steady state error of 1.25%, at a temperature setpoint of 100°C it can reach a steady state within 168 seconds (*Ts*), and has a steady state error of 1.75%, and at a temperature of 120°C can reach a steady state within 247 seconds (*Ts*), and has a steady state error of 1%.*

Keywords: Electric Oven, PID Control, temperature

1. Pendahuluan

Oven listrik merupakan suatu alat memasak yang menggunakan listrik sebagai sumber bahan bakar utama, arus listrik yang dialirkan akan menyebabkan elemen menjadi panas [1]. Proses memasak dilakukan dengan memanfaatkan energi panas yang dipancarkan oleh elemen pemanas. Oven listrik konvensional yang beredar di pasaran saat ini memiliki nilai temperatur yang relatif tinggi, menggunakan energi yang cukup besar, dan tidak memiliki indikator temperatur sehingga tidak dapat diketahui secara pasti suhu yang dihasilkan.

Sistem pengontrolan suhu dapat digunakan sebagai metode penstabilan suhu. Pengontrolan suhu dapat dilakukan dengan mengukur perubahan suhu atau aliran energi panas pada tempat atau benda yang ingin diatur suhunya yang kemudian dimasukkan ke sistem untuk mengatur suhu agar tetap stabil sesuai dengan yang diinginkan [2]. Maka dari itu akan dibutuhkan suatu sistem pengontrolan yang cukup stabil untuk mempertahankan kondisi tersebut.

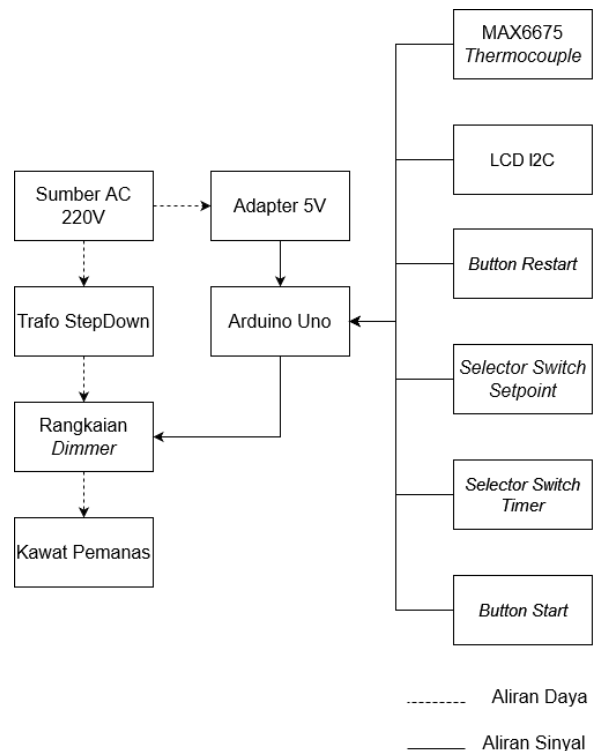
Kontrol PID merupakan salah satu sistem kontrol yang sering digunakan karena kemudahan dalam penerapannya, hasil pengontrolannya yang baik, dan memiliki sifat yang fleksibel. Pengaplikasian PID dapat dijumpai pada berbagai jenis plant contohnya seperti pada servo,

pneumatic, pemanas, dan plant lainnya. Kontrol PID memiliki tiga komponen yaitu proportional (P), Integral (I), dan Derivative (D). Dengan melakukan tuning yang sesuai, kontrol PID dapat digunakan sebagai kontroler penstabilan suhu [3][4][5]. Banyak penelitian yang telah dilakukan mengenai penggunaan kontroler PID sebagai pengaturan suhu salah satunya adalah penelitian pengendalian suhu pada mesin pengering gabah. Pada penelitian tersebut metode Ziegler Nichols 1 digunakan untuk mendapatkan komponen kontroler Kp, Ti, dan Td dan dari hasil pengujian didapatkan hasil Td sebesar 181 detik, Tr sebesar 437 detik, dan Ts sebesar 824 detik. Rata-rata *error* pengendalian suhu setelah sistem mencapai suhu stabil adalah $\pm 0,60^{\circ}\text{C}$ [6].

Berdasarkan permasalahan diatas maka dikembangkan oven listrik yang dapat menghasilkan panas secara konstan agar dapat menghasilkan pemanggangan yang sempurna dan dapat menjaga kandungan nutrisi pada ikan. Pada penelitian makalah ini, metode kontrol PID dipilih sebagai sistem kendali. Kontrol PID digunakan untuk menjaga kestabilan suhu sesuai dengan setpoint yang akan ditentukan. Metode *Ziegler Nichols 1* yang dipilih sebagai metode tuning karena memiliki stabilitas yang lebih baik dari beberapa metode lain [7]. Pada perancangan sistem ini, kumparan kawat digunakan sebagai aktuator yang berfungsi sebagai pemanas serta untuk pembacaan suhu ruangan menggunakan sensor suhu MAX6675 yang hasil dari pembacaan sensor tersebut akan dijadikan umpan balik pada kontroler PID.

2. Perancangan Sistem

Perancangan sistem pengendali suhu dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu perancangan perangkat keras, perancangan kontroler, dan perancangan perangkat lunak. Perancangan perangkat keras meliputi perancangan instrumen suhu, perancangan *Dimmer* dan perancangan I/O. Perancangan kontroler dilakukan dengan pengendalian secara open loop untuk mengetahui jenis dari keluaran sistem atau model sistem proses, pada perancangan ini terdapat tiga komponen utama yang akan ditentukan, yaitu nilai dari Kp, Ki, dan Kd. Perancangan perangkat lunak berisi mengenai perancangan program *Dimmer*, perancangan program kontroler PID, dan perancangan program I/O. Gambar 1 merupakan diagram blok sistem pengendali suhu.



Gambar 1. Diagram blok sistem pengendali suhu

2.1 Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras berisikan perancangan komponen yang digunakan dalam sistem pengontrolan suhu dengan Arduino UNO. Perancangan pengendalian suhu meliputi perancangan *Dimmer* dan perancangan I/O.

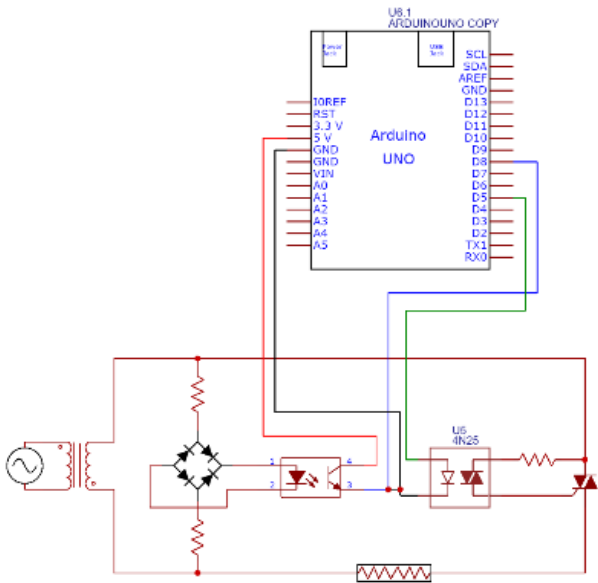
2.1.1 Perancangan *Dimmer*

Pada rangkaian *Dimmer* dibutuhkan beberapa komponen untuk dapat menurunkan tegangan. Komponen-komponen yang digunakan pada rangkaian *Dimmer* yaitu:

1. Resistor
 Pada rancangan ini dibutuhkan empat buah resistor yang bernilai $47\text{k}\Omega$ dua buah, 220Ω , dan 100Ω . Resistor digunakan untuk mengurangi arus yang mengalir pada komponen lainnya.
2. Dioda *bridge*
 Pada rancangan ini dioda *bridge* berfungsi sebagai penanda zero cross pada sumber sinyal AC. *Zero cross* dapat dideteksi ketika hasil keluaran dioda *bridge* menyentuh nilai 0V.
3. IC PC817
 IC PC817 (photocoupler) digunakan sebagai pemisah antara rangkaian tegangan tinggi dengan rangkaian tegangan rendah. Photocoupler bekerja ketika mendapat sinyal DC 0V dari hasil keluaran dioda *bridge*.

4. IC MOC3020
Pada rancangan ini MOC3020 berfungsi sebagai driver TRIAC. MOC3020 merupakan photocouper yang dilengkapi dengan DIAC.
5. TRIAC
Pada prancangan ini TRIAC berfungsi untuk mengatur tegangan masukan pada kawat pemanas.

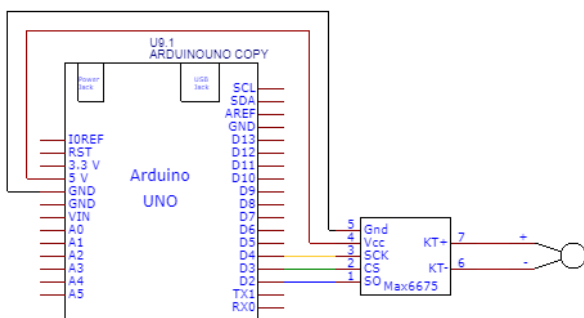
Dapat dilihat pada Gambar 2 untuk skematik dari perancangan *Dimmer*.



Gambar 2. Skematik rangkaian *Dimmer*

2.1.2 Perancangan Sensor Suhu

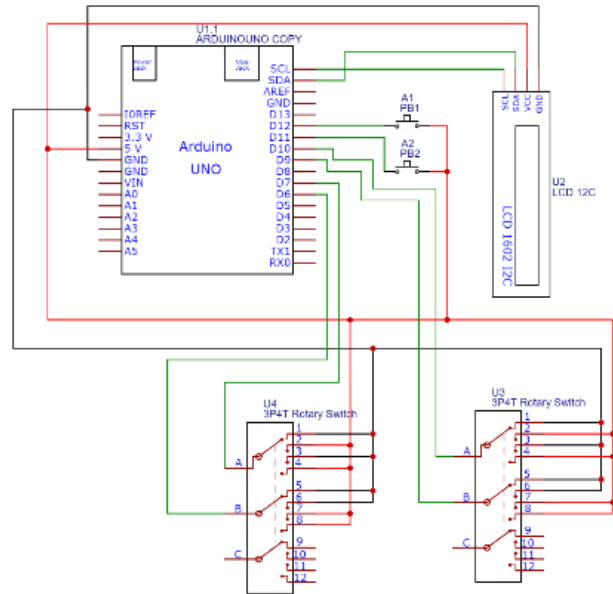
Sensor suhu yang digunakan adalah sensor thermocuple tipe-K yang dihubungkan dengan modul MAX6675. Modul ini memiliki 5 pin, yaitu pin GND, pin VCC, pin SCK, pin CS, dan pin SO. Pada perancangan ini akan dijelaskan mengenai penggunaan pin SCK, CS, dan SO akan dihubungkan ke mikrokontroler. Gambar 3 merupakan skematik dari perancangan Instrumen suhu.



Gambar 3. Skematik instrumen suhu

2.1.3 Perancangan I/O

Pada perancangan I/O terdapat dua bagian yaitu sistem kendali yang ditujukan untuk pengaturan secara langsung oleh pengguna, dan LCD sebagai media monitoring secara langsung. Dapat dilihat dari Gambar 4.



Gambar 4. Skematik rangkaian I/O

2.2 Perancangan Kontroler

Perancangan kontroler dilakukan dengan cara mencari komponen utama, yaitu nilai K_p , K_i , dan K_d dengan metode penalaan yang digunakan. Pengujian respon sistem kontrol secara open loop dilakukan untuk dapat menemukan parameter K , T , dan L pada sistem FOPDT. Nilai parameter tersebut merupakan komponen utama untuk mendapatkan konstanta kontroler PID. Pengujian *Bump test* digunakan untuk mendapatkan nilai K , T , dan L yang kemudian digunakan sebagai *variable tuning* dengan menggunakan metode *Ziegler Nichols* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Merode tuning Ziegler Nichols untuk proses FOPDT

Metode kontrol	K_p	T_i	T_d
Propositional (K_p)	$T/L.K$	∞	0
Integral (K_i)	$0,9T/L.K$	$L/0,3$	0
Derivatif (K_d)	$1,2T/L.K$	$2L$	$0,5L$

Pengujian respon sistem kontrol secara open loop dilakukan untuk dapat menemukan parameter K , T , dan L

pada sistem FOPDT. Nilai parameter tersebut merupakan komponen utama untuk mendapatkan konstanta kontroler PID. Pengujian Bump test digunakan untuk mendapatkan nilai K, T, dan L.

Nilai K dapat ditemukan dengan persamaan

$$K = \frac{\Delta PV}{\Delta CO} = \frac{73-54}{5000-4000} = \frac{19}{1000} = 0.019 \quad (1)$$

Dan untuk nilai keterlambatan transportasi proses (L) dengan persamaan:

$$L = 688 - 663 = 25 \text{ detik} \quad (2)$$

Untuk mendapatkan nilai T dibutuhkan nilai PV63%.

$$PV63\% = (63\% * \Delta PV) + PV_0$$

$$PV63\% = (63\% * 19) + 54$$

$$PV63\% = 11,97 + 54 = 65,97^\circ\text{C}$$

Suhu yang dicapai ketika PV63% yaitu 65,97°C dan nilai suhu tersebut dicapai pada detik ke 778 sehingga dengan menggunakan persamaan:

$$T = 778 - 688 = 90 \text{ detik} \quad (3)$$

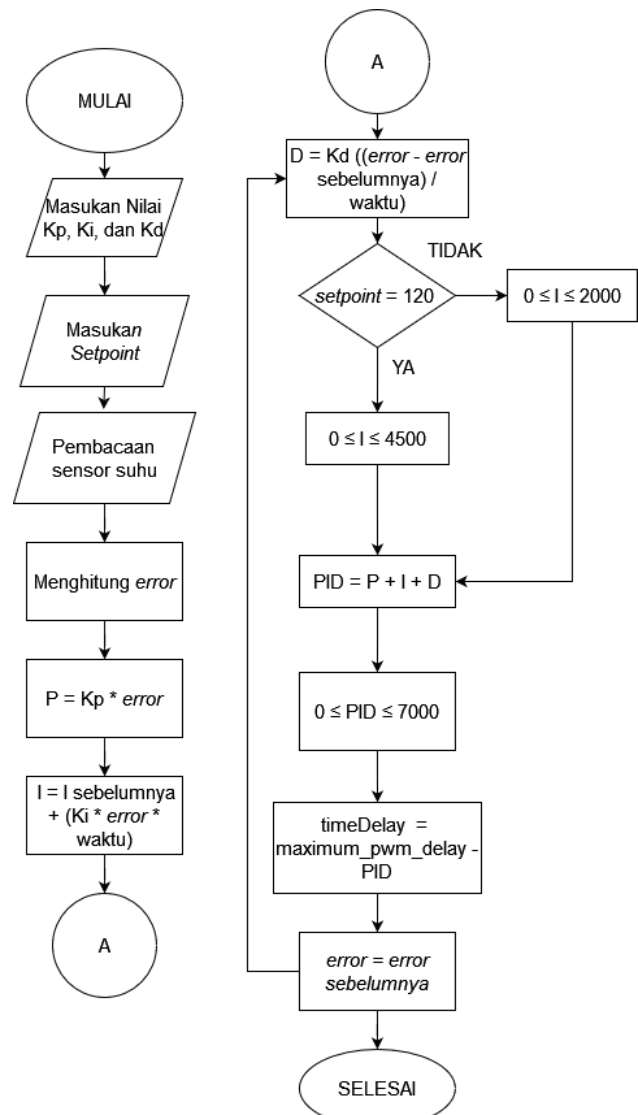
2.3 Perancangan Perangkat Lunak

2.3.1 Perancangan Program Dimmer

Dimmer merupakan komponen penting dalam sistem pengendalian suhu. Perancangan program untuk Dimmer diperlukan untuk dapat mengendalikan perangkat keras yang telah dirancang. Alur dari program Dimmer ini dimulai dengan adanya masukan berupa sinyal zero cross yang dihasilkan oleh IC PC817.

2.3.2 Perancangan Program Kontroler

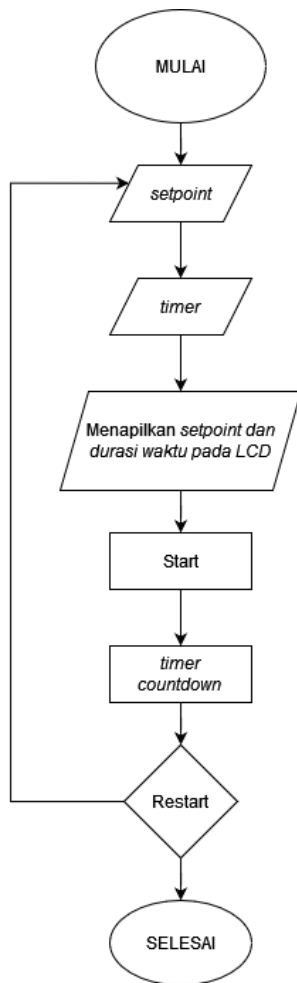
Perancangan program kontroler dibutuhkan untuk dapat melakukan proses pengontrolan pada plant. Pada proses pengendalian, nilai pembacaan suhu digunakan sebagai feedback yang kemudian akan dijadikan variabel error pada perhitungan kontroler. Berikut diagram alir program kontroler. Gambar 5 merupakan gambar diagram alir.



Gambar 5. Diagram alir program kontroler

2.3.3 Perancangan Program I/O

Perancangan program I/O ini dibutuhkan sebagai media pengendalian dan pengawasan kontroler oleh pengguna. Pada perancangan ini terdapat tiga bagian program, pertama yaitu program start dan restart yang terdiri dari dua button yang dimasukkan kedalam interrupt agar dapat didahului tanpa harus melewati program lainnya, kedua yaitu program pengaturan timer dan setpoint menggunakan dua buah selector switch, dan yang terakhir yaitu program LCD untuk menampilkan timer, setpoint dan suhu ruangan oven. error pada perhitungan kontroler. Gambar 6 merupakan diagram alir program I/O.

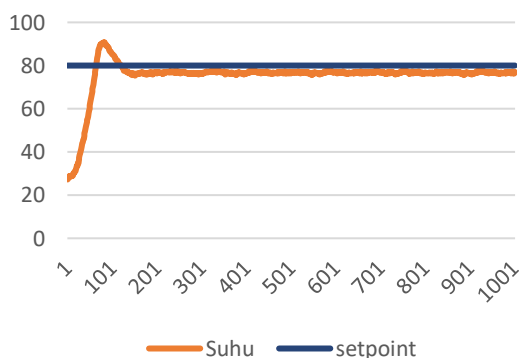


Gambar 6. Diagram alir program I/O

3. Pengujian

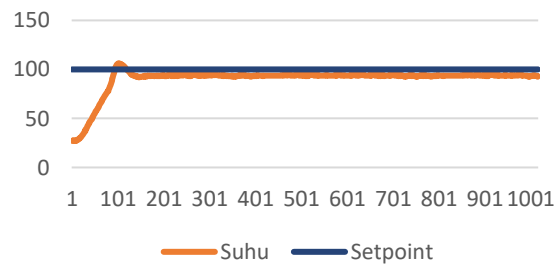
3.1 Pengujian kontroler PID

Pengujian kontroler P dilakukan dengan tiga nilai *setpoint* 80°C, 100°C, dan 120°C. Pengujian dilakukan untuk mengetahui respon keluaran sistem yang dihasilkan oleh kontroler P. Gambar 7 merupakan grafik respon sistem kontroler P dengan *setpoint* 80°C



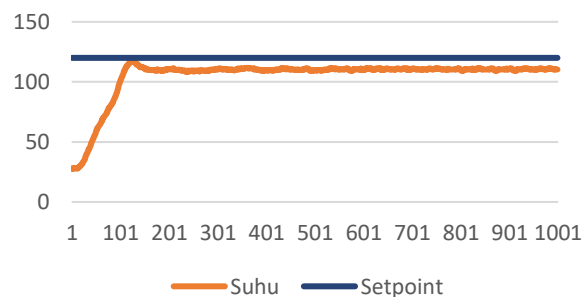
Gambar 7 Grafik respon sistem kontroler P dengan *setpoint* 80°C

Pada Gambar 7 dapat dianalisis respon sistem dari kontroler P mencapai keadaan tunak di angka 77°C dalam kurun waktu (T_s) 156 detik dan tidak dapat mencapai *setpoint*. Sistem memiliki *error* sebesar 4°C, maka dapat ditemukan nilai *error steady state* sebesar 5% maka dapat dikatakan keluaran dari sistem tidak memenuhi kinerja yang telah ditentukan. Gambar 8 merupakan grafik respon sistem kontroler P dengan *setpoint* 100°C



Gambar 8 Grafik respon sistem kontroler P dengan *setpoint* 100°C

Pada Gambar 8 dapat dianalisis respon sistem dari kontroler P mencapai keadaan tunak di angka 93°C dalam kurun waktu (T_s) 164 detik dan tidak dapat mencapai *setpoint*. Sistem memiliki *error* sebesar 7°C, maka dapat ditemukan nilai *error steady state* sebesar 7% maka dapat dikatakan keluaran dari sistem tidak memenuhi kinerja yang telah ditentukan. Gambar 9 merupakan grafik respon sistem kontroler P dengan *setpoint* 120°C

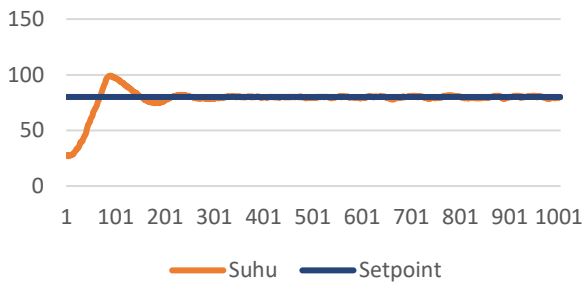


Gambar 9 Grafik respon sistem kontroler P dengan *setpoint* 120°C

Pada Gambar 9 dapat dianalisis respon sistem dari kontroler P mencapai keadaan tunak di angka 111°C dalam kurun waktu (T_s) 176 detik dan tidak dapat mencapai *setpoint*. Sistem memiliki *error* sebesar 9°C, maka dapat ditemukan nilai *error steady state* sebesar 7,5% maka dapat dikatakan keluaran dari sistem tidak memenuhi kinerja yang telah ditentukan.

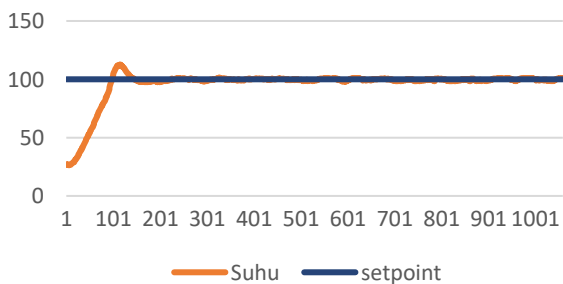
3.2 Pengujian kontroler PI

Pengujian kontroler PI dilakukan pada tiga nilai *setpoint* 80°C, 100°C, dan 120°C. Pengujian dilakukan untuk mengetahui respon keluaran sistem yang dihasilkan oleh kontroler PI. Gambar 10 merupakan grafik respon sistem kontroler PI dengan *setpoint* 80°C



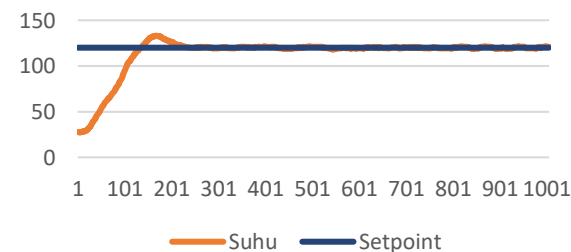
Gambar 10 Grafik respon sistem kontroler PI dengan setpoint 80°C

Dari Gambar 10 didapatkan parameter respon kontrol yang diperoleh sistem dapat mencapai keadaan tunak dalam kurun waktu (Ts) 246 detik dan memiliki rata-rata error pada keadaan tunak sebesar 1,75°C, maka dapat ditemukan nilai *error steady state* sebesar 2,1% maka dapat dikatakan keluaran dari sistem tidak memenuhi kinerja yang telah ditentukan karena nilai *error steady state* lebih dari 2%. Gambar 11 merupakan grafik respon sistem kontroler PI dengan setpoint 100°C



Gambar 11 Grafik respon sistem kontroler PI dengan setpoint 100°C

Dari Gambar 11 didapatkan parameter respon kontrol yang diperoleh sistem dapat mencapai keadaan tunak dalam kurun waktu (Ts) 252 detik dan memiliki rata-rata error pada keadaan tunak sebesar 1,75°C, maka dapat ditemukan nilai *error steady state* sebesar 1,75% maka dapat dikatakan keluaran dari sistem memenuhi kinerja yang telah ditentukan. Gambar 12 merupakan grafik respon sistem kontroler PI dengan setpoint 120°

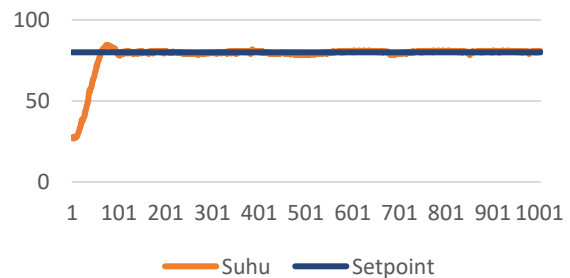


Gambar 12 Grafik respon sistem kontroler PI dengan setpoint 120°

Dari Gambar 12 didapatkan parameter respon kontrol yang diperoleh sistem dapat mencapai keadaan tunak dalam kurun waktu (Ts) 266 detik dan memiliki rata-rata error pada keadaan tunak sebesar 1,25°C, maka dapat ditemukan nilai *error steady state* sebesar 1% maka dapat dikatakan keluaran dari sistem memenuhi kinerja yang telah ditentukan.

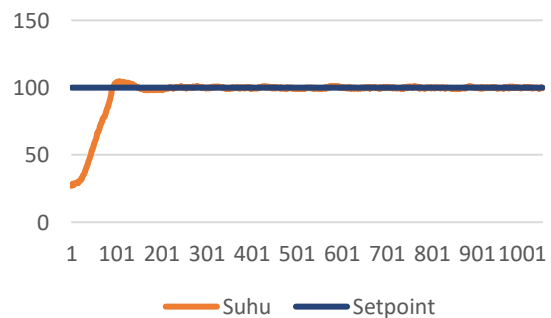
3.3 Pengujian kontroler PID

Pengujian kontroler PID dilakukan dengan tiga nilai setpoint 80°C, 100°C, dan 120°C. Pengujian dilakukan untuk mengetahui respon keluaran sistem yang dihasilkan oleh kontroler PID. Gambar 13 merupakan grafik respon sistem kontroler PID dengan setpoint 80°



Gambar 13 Grafik respon sistem kontroler PID dengan setpoint 80°

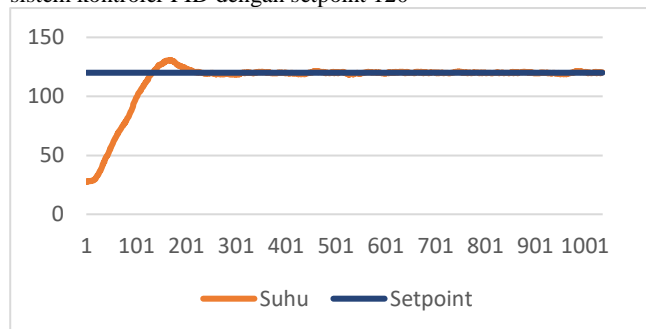
Dari Gambar 13 didapatkan parameter respon kontrol yang diperoleh sistem dapat mencapai keadaan tunak dalam kurun waktu (Ts) 110 detik dan memiliki rata-rata error pada keadaan tunak sebesar 1°C, maka dapat ditemukan nilai *error steady state* sebesar 1,25% maka dapat dikatakan keluaran dari sistem memenuhi kinerja yang telah ditentukan. Gambar 14 merupakan grafik respon sistem kontroler PID dengan setpoint 100°



Gambar 14 Grafik respon sistem kontroler PID dengan setpoint 100°

Dari Gambar 14 didapatkan parameter respon kontrol yang diperoleh sistem dapat mencapai keadaan tunak dalam kurun waktu (Ts) 168 detik dan memiliki rata-rata error pada keadaan tunak sebesar 1,75°C, maka dapat ditemukan nilai *error steady state* sebesar 1,75% maka dapat dikatakan keluaran dari sistem memenuhi kinerja

yang telah ditentukan. Gambar 15 merupakan grafik respon sistem kontroler PID dengan setpoint 120°



Gambar 15 Grafik respon sistem kontroler PID dengan setpoint 120°

Dari Gambar 15 didapatkan parameter respon kontrol yang diperoleh sistem dapat mencapai keadaan tunak dalam kurun waktu (Ts) 247 detik dan memiliki rata-rata error pada keadaan tunak sebesar 1,25°C, maka dapat ditemukan nilai *error steady state* sebesar 1% maka dapat dikatakan keluaran dari sistem memenuhi kinerja yang telah ditentukan.

3.4 Perbandingan Respon Sistem Kontroler P, PI, PID

Setelah mengetahui respon keluaran sistem pada kontroler P, PI, dan PID dibutuhkan perbandingan untuk dapat mengetahui respon keluaran terbaik diantara ketiga kontroler. Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan respon keluaran sistem pada nilai setpoint, durasi, dan suhu awal pengujian yang sama. Kemudian dilakukan perbandingan antara parameter-parameter yang telah didapatkan dari respon sistem pada tiap variasi setpoint seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2, Tabel 3, dan Tabel 4.

Tabel 2 Perbandingan respon keluaran sistem kontroler P, PI, dan PID pada setpoint 80°C

Metode	Ts (detik)	<i>Error steady state</i>
PID	110	1,25%
PI	246	2,1%
P	156	5%

Hasil pengujian yang telah dilakukan dapat diamati parameter-parameter kontrol dari respon keluaran sistem. Berdasarkan Tabel 2, Kontroler PID memiliki respon keluaran yang paling baik karena dapat mencapai keadaan tunak dalam kurun waktu (Ts) 110 detik, dan memiliki *error steady state* sebesar 1,25%.

Tabel 3 Perbandingan respon keluaran sistem kontroler P, PI, dan PID pada setpoint 100°C

Metode	Ts (detik)	<i>Error steady state</i>
PID	168	1,75%
PI	252	1,75%
P	164	7%

Hasil pengujian yang telah dilakukan dapat diamati parameter-parameter kontrol dari respon keluaran sistem. Berdasarkan Tabel 3, Kontroler PID memiliki respon keluaran yang paling baik karena dapat mencapai keadaan tunak dalam kurun waktu (Ts) 168 detik, dan memiliki *error steady state* sebesar 1,75%.

Tabel 4 Perbandingan respon keluaran sistem kontroler P, PI, dan PID pada setpoint 120°C

Metode	Ts (detik)	<i>Error steady state</i>
PID	247	1%
PI	266	1%
P	176	7,5%

Hasil pengujian yang telah dilakukan dapat diamati parameter-parameter kontrol dari respon keluaran sistem. Berdasarkan Tabel 4, Kontroler PID memiliki respon keluaran yang paling baik karena dapat mencapai keadaan tunak dalam kurun waktu (Ts) 247 detik, dan memiliki *error steady state* sebesar 1%.

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan pada sistem pengontrolan suhu pada oven listrik, kontroler PID memiliki keluaran respon sistem yang lebih baik daripada kontroler P ataupun PI.

Referensi

- [1] W. Menghua and X. Bing, "A Real-Time Android-Based Monitoring System for the Power Lithium-Ion Battery Used on EVs," Proc. - 10th Int. Conf. Intell. Comput. Technol. Autom. ICICTA 2017.
- [2] E. Hariadi, Y. Anistyasari, M. S. Zuhrie, and R. E. Putra, "Mesin Oven Pengerings Cerdas Berbasis Internet of Things (IoT)," Indones. J. Eng. Technol., vol. 2, no. 1, pp. 18–23, 2022.
- [3] K. J. Astrom and T. Hagglund, : PID Controllers : : Theory , • Design , Tuning. 2002.
- [4] T. K. Palaniyappan, V. Yadav, V. K. Tayal, and P. Choudekar, "System," 2018 Int. Conf. Power Energy, Environ. Intell. Control, pp. 632–637, 2018.
- [5] P. Handoko, "Sistem Kendali Perangkat Elektronika Monolitik Berbasis Arduino Uno R3," no. November, pp. 1–2, 2017.

- [6] K. H. Ang, G. Chong, and Y. Li, "PID control system analysis, design, and technology," *IEEE Trans. Control Syst. Technol.*, vol. 13, no. 4, pp. 559–576, 2005.
- [7] N. Hambali, A. A. R. Ang, A. A. Ishak, and Z. Janin, "Various PID controller tuning for air temperature oven system," *2014 IEEE Int. Conf. Smart Instrumentation, Meas. Appl. ICSIMA 2014*, no. November, pp. 26–27, 2015
- [8] T. Third, T. Edition, and E. Edition, "Arduino Arduino Arduino Microcontroller Microcontroller Microcontroller Processing Processing Processing for for for Everyone ! Everyone ! Everyone !," p. 493, 2013.
- [9] A. Abdul Sofyan, P. Puspitorini, and D. Baehaki, "Cth Ta2," *J. Sisfotek Glob.*, vol. 7, no. 1, pp. 2–2, 2017.
- [10] T. Pan and Y. Zhu, "Getting Started with Arduino," *Des. Embed. Syst. with Arduino*, pp. 3–16, 2018.