

# Sistem Pengendali Suhu pada Kandang Ayam Broiler Berbasis Kendali PID

## PID Temperature Controller System in Broiler Chicken Cages

Albilah Bayu Seno Pratama<sup>1</sup>, Yulian Zetta Maulana<sup>\*2</sup>, Herryawan Pujiharsono<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>*Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Telkom Purwokerto  
Jl. D.I. Pandjaitan 128, Purwokerto Selatan 53147, Jawa Tengah, Indonesia*

<sup>\*2</sup>Corresponding author: yulian@ittelkom-pwt.ac.id  
<sup>1</sup>19107025@ittelkom-pwt.ac.id, <sup>3</sup>herryawan@ittelkom-pwt.ac.id

Received on 09-01-2024, accepted on 07-06-2024, published on 29-07-2024

### Abstrak

Suhu dan kelembapan yang optimal pada peternakan ayam perlu dijaga untuk mengoptimalkan pertumbuhan ayam pada masa *brooding*. Namun, di peternakan konvensional, terkadang terjadi perubahan suhu dan kelembapan mendadak yang berada di luar suhu optimal untuk perkembangan ayam *brooding*. Peternakan ayam broiler pada periode *brooding* (umur 14 hari) memiliki set poin suhu berkisar antara 30-35°C. Kelembapan relatif pertumbuhan pada ayam adalah antara 60% sampai 70%. Dalam penelitian ini dibuatlah sistem untuk mengendalikan suhu menggunakan *prototype* pada kandang ayam menggunakan pengontrol PID. Penalaan yang digunakan menggunakan metode *tuning Ziegler Nichols*. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa pengendali PID mendapatkan hasil *error steady state* yang lebih baik yaitu 0.6%, dibandingkan metode konvensional yang 2.6%. Untuk *time settling*, kinerja sistem menggunakan pengendali PID adalah sebesar 21.33 menit, lebih cepat dibandingkan metode konvensional yaitu 21.73 menit. Sehingga bisa disimpulkan bahwa pengendali PID dengan penalaan *Ziegler Nichols* menghasilkan kinerja yang lebih baik dibandingkan metode konvensional. Selanjutnya, diharapkan bahwa metode pengendalian PID dengan penalaan yang paling sesuai bisa diterapkan di kandang ayam terutama pada masa *brooding*, karena terbukti bisa mempertahankan suhu di tengah gangguan.

**Kata kunci:** Ayam, Suhu, Kendali, PID, *Ziegler Nichols*

### Abstract

At chicken farms, optimal temperature and humidity need to be maintained to optimize chicken growth during the brooding period. However, in conventional farms, sudden changes in temperature and humidity sometimes occur which are outside the optimal temperature for the development of brooding chickens. At Broiler chicken farms during the brooding period (14 days of age) have a set temperature ranging from 30-35°C. Relative humidity for growth in chickens is between 60% and 70%. In this research, a system was created to control temperature using a prototype in a chicken coop using a PID controller. The tuning used uses the *Ziegler Nichols* tuning method. The DHT22 temperature sensor is connected to the ESP32 microcontroller to obtain data. There was also a test that was given interference in the form of hot temperature from the bulb. From the research results, it was found that the PID controller obtained better steady state error results, namely 0.6%, compared to the conventional method which was 2.6%. For time settling, the system performance using a PID controller is 21.33 minutes, faster than the conventional method, namely 21.73 minutes. So, it can be concluded that the PID controller with *Ziegler Nichols* tuning produces better performance than conventional methods. In the future, it is hoped that the PID control method with the most appropriate tuning can be applied to chicken drums, especially during the brooding period, because it has been proven to be able to maintain temperature amidst disturbances.

**Keywords:** Chicken, Temperature, Control, PID, *Ziegler Nichols*

## I. PENDAHULUAN

Peternakan, seperti ayam broiler, adalah industri yang berkembang cepat dan sangat diminati. Ayam broiler membutuhkan suhu yang relatif stabil dan kondisi pertumbuhan yang memadai untuk pertumbuhan yang optimal. Suhu ideal untuk ayam broiler selama periode *brooding* (umur 14 hari) adalah 30–32°C, bahkan lebih dari 38°C, dengan kelembapan relatif pertumbuhan optimal 60–70%. Masalah paling umum adalah tingginya suhu lingkungan dan kandang. Ayam broiler termasuk dalam kategori hewan berdarah panas, atau *homeothermic*. Pertumbuhan tersebut akan mengurangi hasil panen. Terlalu panas, sensitif terhadap stres, dan menghambat produksi karena faktor lingkungan, genetik, dan manajemen [1][2][3].

Ayam broiler akan menghasilkan panas seiring dengan membesarnya tubuh ayam tersebut, yang menyebabkan gejala *overheating*. Hembusan angin yang diperoleh dari kecepatan angin dalam kandang adalah salah satu cara untuk menurunkan suhu tubuh ayam. Menurunkan suhu dan kelembapan dengan mengontrol kecepatan kipas. Ada kemungkinan untuk memasukkan pengatur kecepatan kipas ke dalam modul dimmer untuk mengatur kecepatan putar kipas sesuai dengan suhu udara. Ini memungkinkan modul dimmer untuk mengatur kecepatan kipas yang tinggi untuk setiap suhu [4][5][6].

Metode pengontrolan tersebut masih dapat dioptimalkan dengan meningkatkan keakuratan kecepatan putaran kipas untuk mendapatkan kestabilan yang lebih dalam pengendalian suhu. Oleh karena masih terdapat masalah terkait waktu yang dibutuhkan untuk menurunkan suhu yang masih terlalu lama dan belum efektif dalam mengendalikan kestabilan suhu, sehingga perlu dilakukan cara lain untuk mendapatkan kestabilan yang lebih baik lagi dalam pengendalian suhu dan kelembapan.

Aplikasi pengendali pada kandang ayam konvensional harus didesain sedemikian rupa sehingga mudah digunakan oleh peternak ayam. Tujuan utamanya adalah untuk mempertahankan suhu dan kelembapan di saat cuaca luar tidak menentu, terutama di masa sekarang dimana efek pemanasan global semakin terasa. Pengendali *Proporsional Integral Derivatif* (PID) konvensional sangat cocok diterapkan di aplikasi pengendalian suhu pada kandang ayam. Penelitian ini menekankan keseimbangan antara kesederhanaan pengendali agar bisa lebih mudah digunakan dengan tujuan agar suhu dan kelembapan pada kandang ayam tetap stabil. Kebaruannya terletak pada penerapannya yang sebelumnya menggunakan pengendali *on-off*, dan bertransisi menjadi pengendali otomatis. Sehingga keunikan penelitian ini yaitu berusaha menjembatani pengendalian konvensional dengan pengendalian otomatis yang sederhana di peternakan ayam. Pengontrol dari suhu tersebut dapat diselesaikan dengan metode kontrol PID, sehingga diharapkan dapat memberikan nilai suhu yang sesuai untuk pertumbuhan ayam broiler.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

Berdasarkan penelitian Dewi Raokhil Iklima Fariyya pada 2020 [2], diperoleh suhu dan kelembapan, rancang bangun alat dengan metode Internet Of Things berbasis Blynk, sistem monitoring suhu, kelembapan, dan intensitas cahaya kandang ayam, serta DHT22 merupakan sensor suhu dan kelembapan.

Berdasarkan penelitian Ulfah Mediaty Arief pada 2014, diperoleh bahwa sinyal kontrol yang diperoleh digunakan untuk mengatur sudut fasa agar dapat mengatur tegangan AC pada *heater* [7]. Relevansi dari penelitian adalah dengan penggunaan kendali PID. Berdasarkan penelitian tersebut, diperoleh bahwa PID dapat menstabilkan suhu tetap pada nilai *set point* yang menghasilkan data lebih baik dibandingkan dengan metode konvensional. Perbedaan penelitian terletak pada fokus penelitian, yaitu pada kestabilan *heater*, sedangkan penelitian yang akan dilakukan berfokus pada penurunan suhu dan kelembapan kandang ayam.

Riana Ayu Anggraeni pada penelitiannya tahun 2019 menggunakan PID untuk mengendalikan suhu secara otomatis pada *Smart Cage Prototype* untuk DOC ayam broiler [8]. Penelitian ini menggunakan metode identifikasi sistem ARX dengan nilai konstanta kendali PID. Relevansi dari penelitian tersebut yaitu penggunaan metode kendali PID dalam menjaga kestabilan suhu kandang ayam.

Mila Diah Putri pada penelitiannya tahun 2022 menggunakan metode Ziegler Nichols yang dibandingkan dengan metode *trial and error* [9]. Dari hasil penelitian tersebut diperoleh kesimpulan bahwa Metode Ziegler Nichols menghasilkan respon sistem yang lebih stabil dengan nilai *overshoot* yang lebih kecil. Relevansi penelitian yaitu penggunaan metode kendali PID mengatur motor AC untuk mendapat nilai kestabilan. Dengan memperoleh parameter kendali dari perhitungan yang baik.

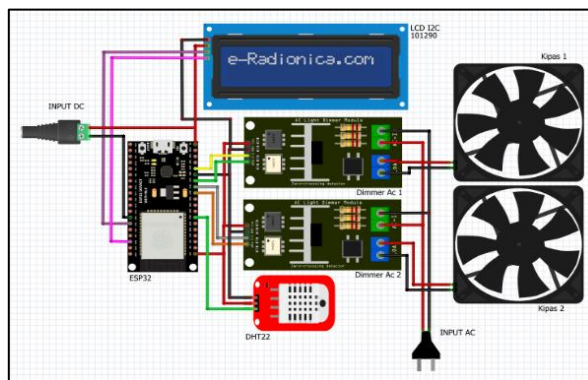
Selanjutnya, pada penelitian ini dianalisis kinerja sistem berdasarkan gangguan yang diberikan kepada sistem. Dalam hal ini, gangguan yang diberikan adalah penambahan panas. Tujuannya adalah untuk

mengukur kehandalan sistem pada saat terjadi perubahan cuaca panas yang mendadak. Tetapi pada saat yang bersamaan berusaha menjembatani gap penelitian selama ini yang biasanya kurang implementatif saat diterapkan pada kandang ayam yang sebenarnya.

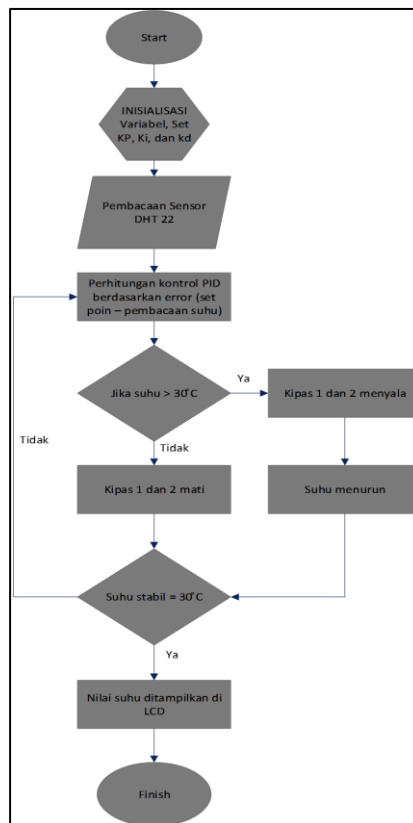
### III. METODE PENELITIAN

#### A. Perancangan Hardware dan Software

Pada metode penelitian dengan dimulai melakukan studi literatur sebagai bahan kajian penelitian untuk menjadi pengamatan yang telah dilakukan sebelumnya. Berdasarkan kajian dari studi literatur tersebut maka perancangan serta pembuatan sistem ataupun analisis pada pengujian sehingga dapat membantu penelitian ini tentang pengendalian suhu kandang ayam broiler dapat sesuai mengatur control suhu terhadap setpoint yang diinginkan menjaga stabilitas suhu kandang. Agar sinyal control keluaran dapat terhubung dengan Kipas AC, maka sinyal tersebut dihubungkan dengan *dimmer* terlebih dahulu. Gambar 1 menunjukkan *wiring diagram* yang telah dirancang, sedangkan Gambar 2 menunjukkan *flowchart* program.



Gambar 1. Pengabelan Perangkat Keras



Gambar 2. Flowchart Program

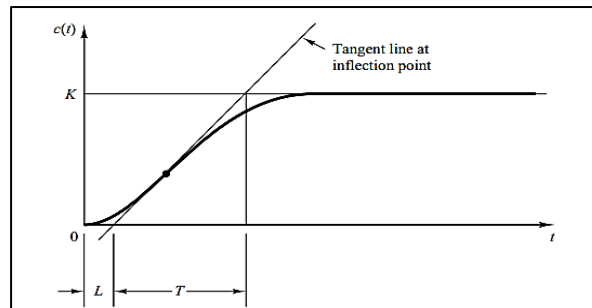
## B. Konfigurasi Pengendali PID

Sistem pengontrol PID adalah pengontrol yang digunakan untuk mendapatkan kinerja terbaik yang ditinjau dari nilai *error steady state*, *time settling*, dan *overshoot* dengan memanfaatkan umpan balik negatif sistem. Keluaran pengendali PID adalah sinyal yang terhubung dengan Dimmer untuk mengendalikan suhu yang berasal dari putaran kipas. Sistem pengontrolan PID memiliki 3 cara pengaturan yaitu pengontrol P (Proportional), I (integral), dan D (Derivative). Pengendali PID dapat menggunakan pemrograman yang berada pada perangkat pengendali. Di dalam pemrograman tersebut mengatur parameter P, I, dan D diatur untuk menghasilkan kinerja terbaik[10]. Ada berbagai macam metode untuk mendapatkan nilai parameter yang menghasilkan kinerja optimal pada system. Salah satunya adalah metode Ziegler Nichols.

## C. Metode Penalaan Ziegler Nichols

Metode Ziegler Nichols adalah metode pengembangan terhadap metode trial and error. Ziegler Nichols memperkirakan nilai parameter PID akan digunakan sehingga mendapatkan respon yang baik[11]. Metode penalaan atau tuning ini digunakan untuk menentukan nilai Proporsional ( $K_p$ ), Waktu Integral ( $T_i$ ) serta Waktu Derivatif ( $T_d$ ) berdasarkan karakteristik respon transient terhadap sebuah plant. Metode Ziegler Nichols terdapat 2 metode yang bisa digunakan yaitu metode osilasi serta metode kurva reaksi. Pada metode osilasi, system harus berada di dalam kondisi closed loop untuk dicari nilai parameter pengendalinya. [12]

Pada penelitian ini, yang digunakan adalah Metode Ziegler Nichols kurva reaksi. Pada metode ini, berbeda dengan metode osilasi, penentuan parameter dilakukan pada sistem yang bersifat *open loop*. Sistem diberi input step dan yang akan menghasilkan respon transient. Respon inilah yang digunakan untuk menentrukan parameter PID [13]. Kurvanya dapat dilihat pada Gambar 3 [14].



Gambar 3. Kurva Respon Berbentuk S [14]

Kurva S memiliki dua parameter, yaitu waktu tunda  $L$  dan waktu konstan  $T$ . Waktu tunda dan waktu konstan diperoleh dengan menarik garis singgung pada kurva S tersebut. Metode pengujian ini menggunakan parameter waktu penurunan suhu untuk mengetahui perbandingan antara pengujian sistem dengan sistem kendali PID dengan sistem konvensional (tanpa kendali PID). Dari pengujian akan diperoleh sistem dengan hasil yang lebih baik, respon yang lebih cepat dan stabil. Pengujian sistem dilakukan tanpa kendali PID untuk memperoleh nilai parameter PID yang akan digunakan sebagai penggunaan respon. Dari tahap tersebut dapat diperoleh nilai parameter  $K_p$ ,  $T_i$ , dan  $T_d$ . Setelah mendapatkan parameter PID, lalu dilakukan tahap pengujian sistem menggunakan kendali PID [15].

## IV. HASIL DAN ANALISIS

Pengujian dilakukan menggunakan sensor DHT22 yang kemudian dibandingkan dengan alat ukur pengujian yaitu thermometer digital untuk mendapatkan besar nilai akurasi dari sensor DHT22 setelah itu maka akan dihitung selisih perbedaan antara nilai pembacaan sensor dan nilai pembacaan pada alat ukur dengan perhitungan nilai *error* yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Akurasi Sensor

No.	Suhu Sensor (°C)	Suhu Alat Ukur (Termometer Digital, °C)	Selisih	Error (%)	Akurasi (%)
1	25.6	26	0.4	1.56	98.44
2	25.8	26	0.2	0.78	99.22

No.	Suhu Sensor (°C)	Suhu Alat Ukur (Termometer Digital, °C)	Selisih	Error (%)	Akurasi (%)
3	26.3	26.8	0.5	1.90	98.10
4	26.8	26.5	0.3	1.12	98.88
5	27.2	27.9	0.7	2.57	97.43
6	27.9	28.1	0.2	0.72	99.28
7	29.8	29	0.8	2.68	97.32
8	29.6	30.2	0.6	2.03	97.97
9	30.1	30.7	0.6	1.99	98.01
10	30.5	30.8	0.3	0.98	99.02
11	31	31.4	0.4	1.29	98.71
12	31.8	31.6	0.2	0.63	99.37

Pada pengujian ini merupakan konfigurasi AC ke DC, dimana pengukuran dilakukan untuk mengetahui berapa tegangan yang dihasilkan dari masukan PWM dalam hal ini input PWM berupa bit range nilai yang diketahui yaitu 0-255, terhadap input AC pada beban tegangan kipas fan serta pada output DC modul dimmer yang terhubung pada keluaran dari mikrokontroler ESP32.

Tabel 2. Pengujian Dimmer

No.	Nilai PWM (bit)	Arus	
		AC input	DC output
1	25	19.0 mA	0.46 mA
2	51	25.5 mA	0.46 mA
3	76	32.0 mA	0.46 mA
4	102	39.0 mA	0.46 mA
5	127	46.0 mA	0.46 mA
6	153	52.0 mA	0.47 mA
7	178	57.5 mA	0.47 mA
8	204	62.0 mA	0.47 mA
9	229	67.0 mA	0.47 mA
10	255	72.0 mA	0.47 mA

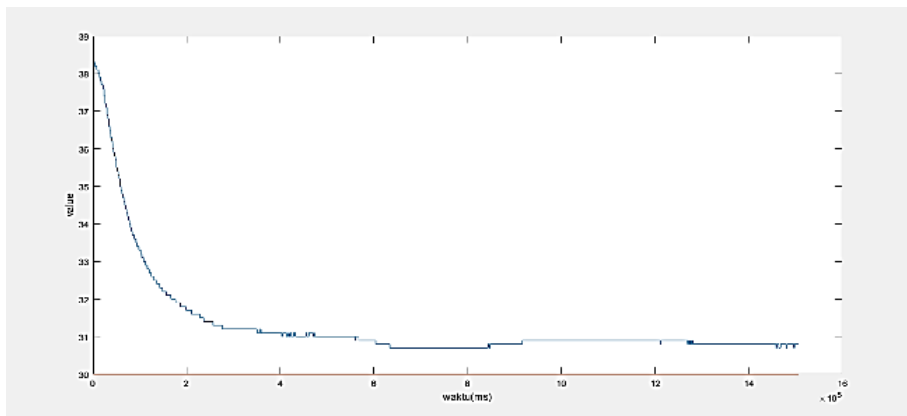
Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat ukur kecepatan *tachometer digital infrared* yang di arahkan pada saat kipas fan saat berputar. Berdasarkan nilai PWM yang diketahui, maksimum nilai bit PWM pada mikrokontroler ESP32 yaitu 255, sehingga nilai tersebut digunakan sebagai acuan pengujian dengan range persentase 10 – 100%.

Tabel 3. Pengujian PWM

No.	Nilai PWM	Nilai RPM (rotasi per menit)	
		Kipas 1	Kipas 2
1	10%	640	650
2	20%	1110	1130
3	30%	1550	1590
4	40%	1830	1880
5	50%	2030	2070

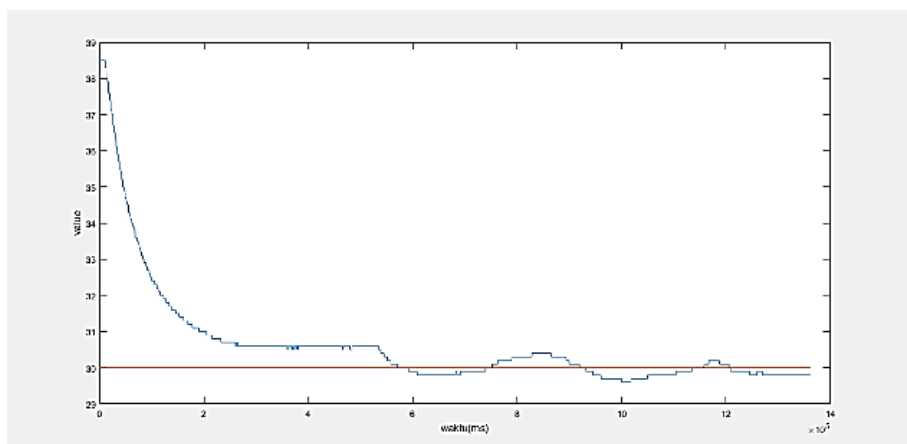
No.	Nilai PWM	Nilai RPM (rotasi per menit)	
		Kipas 1	Kipas 2
6	60%	2110	2180
7	70%	2170	2190
8	80%	2200	2240
9	90%	2230	2280
10	100%	2260	2300

Pada pengujian secara konvensional, sistem diuji dan mengendalikan temperatur tanpa sistem dari PID, bagaimana kipas fan bekerja dalam menurunkan suhu tanpa input nilai sistem kendali PID. Gambar 3 Berikut merupakan pengujian sistem tanpa menggunakan PID terbaik.



Gambar 4. Respon Tanpa Menggunakan Pengendali PID

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut pada percobaan kedua pengujian tanpa menggunakan sistem PID dari perhitungan analisa tanggapan waktu diketahui tanggapan respon yaitu nilai *error steady state* 2.6%, *overshoot* 0.0% dengan nilai *time rise* 0 menit, *time peak* 0, hal tersebut terjadi karena pada pengujian ini sistem tidak mencapai *setpoint*, *time settling* 2% berada pada 28.83 menit. Pengujian menggunakan PID ini sebagai pembandingan terhadap tanpa menggunakan sistem PID. Mencari nilai parameter PID berdasarkan data pengujian tanpa menggunakan PID, nilai *tuning* PID dari metode perhitungan Ziegler Nichols atau Tunning Ziegler Nichols, dengan garis L dan T yang sesuai dengan bentuk terjadinya gelombang. Pengujian dilakukan dengan nilai set point yang sama untuk semua pengujian yaitu 30°C dan nilai suhu yang digunakan saat Start dimulai pengukuran sebesar 38°C.



Gambar 5. Respon Dengan Menggunakan Pengendali PID

Berdasarkan hasil perhitungan di atas dapat diketahui parameter PID dengan metode tuning Ziegler Nichols, dengan besar nilai  $k_p = 20.4$ ,  $k_i = 1.02$ , dan  $k_d = 102$ . Dari nilai parameter tersebutlah yang digunakan pada kinerja sistem untuk mengetahui bagaimana kerja sistem pengujian dengan menggunakan PID. Jika dibandingkan dengan penelitian[5], maka hasil yang diperoleh menunjukkan nilai yang lebih presisi, karena percobaan sebelumnya hanya mengatur kombinasi menyala dan matinya kipas. sedangkan jika dibandingkan dengan penelitian [6], hasil yang diperoleh di penelitian ini lebih menggambarkan nilai settingan PID yang sesuai.

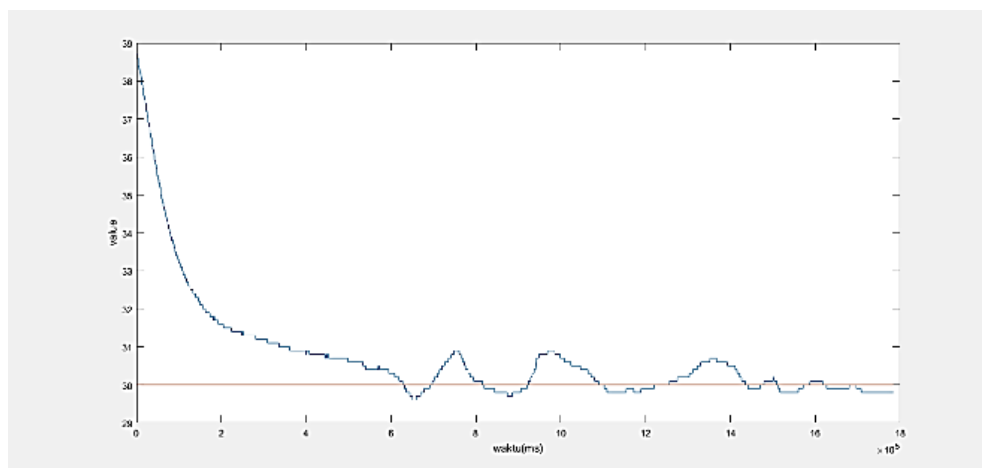
Pada pengujian analisa tanggapan waktu adalah pengujian pada sistem dengan menggunakan sistem PID, setelah dilakukan pengujian dihitung untuk mendapatkan nilai fungsi transfer yang akan digunakan dalam sistem pengujian dengan menggunakan sistem PID. Pengukuran dimulai dari suhu  $38^{\circ}\text{C}$  sampai setpoint yang telah ditentukan sebelumnya yaitu  $30^{\circ}\text{C}$  serta pada nilai PWM yang sama sebesar 255. Untuk pengujian dengan menggunakan sistem kendali PID mendapatkan hasil yang diperoleh suhu stabil pada  $29.6^{\circ}\text{C}$  yang dimana dapat mencapai *setpoint*  $30^{\circ}\text{C}$  dengan nilai PWM sebesar 255. Hasil perhitungan tersebut pengujian dengan menggunakan sistem PID dari perhitungan analisa tanggapan waktu tanggapan respon yaitu didapatkan nilai *error steady state* 0.6%, *overshoot* 1.3% dengan nilai *time rise* 9.50 menit, *time peak* 16.84 menit, dan *time settling* 2% berada pada 21.33 menit.

Perbandingan reformansi sistem merupakan hasil antara pengujian tanpa menggunakan sistem PID atau sistem konvensional dengan membandingkan terhadap pengujian dengan menggunakan PID.

Tabel 4. Perbandingan Kinerja Sistem

No.	Pengujian Sistem	Performansi				
		Error Steady State (%)	Overshoot (%)	Time Rise	Time Peak	Time Settling
1.	Konvensional	2.6	0	$\infty$	0	21.73
2.	Ziegler Nichols	0.6	1.3	9.5	16.84	21.33

Pada pengujian sistem diberikan gangguan atau noise merupakan pengujian sistem dengan kendali PID yang pada saat percobaan berlangsung diberi gangguan dalam hal ini berupa menambahkan panas, untuk panas tersebut berasal dari bohlam lampu yang dimasukkan.



Gambar 6. Kinerja sistem menggunakan kendali PID yang diberi gangguan

Berdasarkan perhitungan pada percobaan pengujian tanpa menggunakan sistem PID dari perhitungan analisa tanggapan waktu diketahui tanggapan respon yaitu nilai *error steady state* 0.6%, *overshoot* 1.3% dengan nilai *time rise* 10.46 menit *time peak* 10.90 dan *time settling* 2% berada pada 28.49 menit. Berdasarkan pengujian sistem menggunakan PID metode Ziegler Nichols, dimana sistem dapat kembali menyesuaikan suhu terhadap *setpoint* serta dapat mencapai *steady state* nya.

## V. KESIMPULAN

Pemodelan dari sistem yang dirancang dapat berhasil dengan baik untuk mengendalikan suhu pada prototype kandang ayam broiler serta mendapatkan nilai fungsi transfer parameter  $k_i$ ,  $k_p$ , dan  $k_d$  untuk pengujian dengan kendali PID. Hasil pengujian sistem dengan menggunakan kendali PID didapatkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan tanpa PID dan mampu diimplementasi dengan baik untuk penurunan suhu kandang broiler. Kendali PID berpengaruh terhadap *error steady state*, dengan menggunakan sistem kendali pada pengujian Ziegler Nichols lebih baik menurunkan menjadi 0.6% pada pengujian 1 dan 2, untuk pengujian 3 mempertahankan nilai yang sudah baik pada 0.3%. Dari data yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat perbedaan signifikan untuk sistem dengan pengendali konvensional dan sistem dengan pengendali PID. Namun Sistem dengan pengendali PID memiliki nilai *error steady state* yang lebih kecil. Sistem dengan pengendali PID juga mampu mempertahankan kinerjanya saat diberikan gangguan.

## REFERENCES

- [1] A. A. Masriwilaga, T. A. J. M. Al-hadi, A. Subagja, and S. Septiana, "Monitoring System for Broiler Chicken Farms Based on Internet of Things (IoT)," *Telekontran J. Ilm. Telekomunikasi Kendali dan Elektronika Terapan*, vol. 7, no. 1, pp. 1–13, 2019, doi: 10.34010/telekontran.v7i1.1641.
- [2] D. R. I. Fariyya, "Rancang Bangun Monitoring Suhu, Kelembapan, dan Intensitas Cahaya Pada Kandang Ayam Berbasis Web," *Teknologi Informasi*, vol. 3, no. 2, pp. 98–104, 2019.
- [3] N. I. Afiah, D. N. Ramadan, and T. N. Damayanti, "Prototype Otomasi Dan Monitoring Suhu Dan Kelembapan Pada Peternakan Ayam Broiler Berbasis Iot," *Telkita (Jurnal Telekomun. Elektro, Komputasi, dan Inform.)*, vol. 7, no. 6, 2021.
- [4] T. Bulletins, "COBB Broiler Management Guide Introduction," *Cobb-vantress Inc.*, p. 73, 2012.
- [5] R. Aulia, R. A. Fauzan, I. Lubis, "Pengendalian Suhu Ruang Menggunakan Menggunakan FAN dan DHT11 Berbasis Arduino," *CESS (Journal Comput. Eng. Syst. Sci.)*, vol. 6, no. 1, p. 30, 2021, doi: 10.24114/cess.v6i1.21113.
- [6] A. E. Farhan Nugroho, Muhammad Saleh, "Perancangan Sistem Kendali Kipas Angin Otomatis Berbasis NodeMCU V3," *Jurnal Univ. Tanjungpura*, no. 3, p. 10, 2020.
- [7] U. M. Arief, "Aplikasi Kontrol PID untuk Kontrol Suhu dan Humidity pada Sistem Pengeringan Seledri," *Univ. Negeri Semarang*, p. 05, 2014.
- [8] R. A. Anggraeni, "Perancangan Pengatur Suhu Otomatis Pada Prototype Smart Cage Untuk DOC (day Old Chick) Ayam Broiler Berbasis PID" *Univ. Negeri Semarang*, 2019, [Online]. Available: <http://lib.unnes.ac.id/35605/>
- [9] M. Diah Ika Putri, A. Ma'arif, and R. Dwi Puriyanto, "Pengendali Kecepatan Sudut Motor DC Menggunakan Kontrol PID dan Tuning Ziegler Nichols," *Techno (Jurnal Fak. Tek. Univ. Muhammadiyah Purwokerto)*, vol. 23, no. 1, 2022, doi: 10.30595/techno.v23i1.10773.
- [10] S. D. Prasetya, E. S. Budi, and Y. Yulianto, "Aplikasi PID Controller Level Feed Water Boiler pada Miniplant dengan Menggunakan PLC Dan HMI," *J. Elektron. dan Otomasi Ind.*, vol. 7, no. 3, p. 32, 2021, doi: 10.33795/elkolind.v7i3.206.
- [11] K. Simamora, "Desain Kendali PID pada Plant Debit Air dengan Metode Ziegler-Nichols dan Cohen Coon Menggunakan Matlab dan Arduino" 2015. [Online]. Available: [https://www.academia.edu/14691251/Desain\\_Kendali\\_PID\\_Pada\\_Plant\\_Debit\\_Air\\_Dengan\\_Metode\\_Ziegler\\_Nichols\\_dan\\_Cohen\\_Coon\\_Menggunakan\\_Matlab\\_Dan\\_Arduino\\_UNO](https://www.academia.edu/14691251/Desain_Kendali_PID_Pada_Plant_Debit_Air_Dengan_Metode_Ziegler_Nichols_dan_Cohen_Coon_Menggunakan_Matlab_Dan_Arduino_UNO)
- [12] Anonymous, "Tuning Parameter Pengontrol PID," *elib.unikom*, 2019, [Online]. Available: <https://elib.unikom.ac.id/files/disk1/469/jbptunikompp-gdl-janautama-23433-13-pertemua-d.doc>
- [13] D. R. A. Chairuzzaini, Mohammad Rusli, "Pengenalan Metode Ziegler-Nichols pada Perancangan Kontroler pada PID," *ELEKTRO INDONESIA.*, 1998. <https://www.elektroindonesia.com/elektro/tutor12.html>
- [14] K. Ogata and J. W. Brewer, *Modern Control Engineering* (5th Edition). 2010. [Online]. Available: New York
- [15] N. A. AMRULLAH, "Alat Kontrol Suhu dan Kelembapan Otomatis pada Ruang Budidaya Jamur Tiram Berbasis ATmega32," *Dr. Diss. Univ. 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2017, [Online]. Available: [http://repository.untag-sby.ac.id/236/3/BAB\\_2.pdf](http://repository.untag-sby.ac.id/236/3/BAB_2.pdf)