

Sistem Kendali Suhu Mesin Tetas Telur Ayam Buras Menggunakan Kontroler PID dengan Metode Tuning Ziegler Nichols *Open Loop Step Response*

Indra Agustian^{1*}, Dian S. Prakoso², Ruvita Faurina³, Novalio Daratha⁴

^{1,2,4} *Teknik Elektro Universitas Bengkulu*, *indraagustian@unib.ac.id

³ *Informatika Universitas Bengkulu*

ABSTRACT

An egg incubator is a tool that helps the process of hatching eggs using an electric heater and is equipped with an egg rack that functions to evenly distribute the heat in the incubator. Good temperature control in the hatching process is something that greatly affects the hatching results. In this study, an egg incubator temperature control system was designed using the PID method with the Ziegler Nichols Open Loop Step Response tuning method. The control system is specifically for free-range chicken eggs which require a normal temperature of 37 °C-39 °C. The main control components are the microcontroller, the incandescent lamp heater, and the DHT22 temperature sensor. The open loop test shows a time delay of 20 seconds and a time constant of 385 seconds, so with the Ziegler Nichols open loop tuning method, the values of $K_p = 23.1$, $K_i = 40$, and $K_d = 10$. The test results show that the PID controller can control the temperature properly. In testing the hatching process within 21 days, the temperature control worked well, and the effect of changes in day and night temperature did not significantly affect the performance of the PID controller.

Kata kunci: mesin tetas, pid, Sensor, kendali suhu, ziegler nichols

1. PENDAHULUAN

Ayam buras merupakan sebutan untuk jenis ayam bukan ras, di Indonesia ayam buras lebih populer dengan sebutan ayam kampung. Ayam buras pada awalnya banyak dipelihara secara tradisional di daerah pedesaan. Namun saat ini, sudah banyak peternak di luar daerah pedesaan yang melakukan pembudidayaan ayam buras dengan cara yang lebih modern.

Daging dan telur ayam buras diklaim memiliki cita rasa yang lebih enak, kandungan zat gizi yang lebih tinggi dan lebih sehat dibandingkan dengan ayam ras. Oleh karena itu, permintaan pasar terhadap telur dan daging ayam buras terus meningkat. Berdasarkan data

BPS, dari tahun 2019, produksi telur ayam buras di Indonesia mengalami peningkatan 54.7 %, dari 246.691,74 Ton menjadi 381.612,83 Ton [1]. Namun produksi daging ayam buras mengalami penurunan 7%, dari 292.329,20 Ton pada tahun 2019 turun menjadi 272.001,20 Ton pada tahun 2021 [2]. Karena kurangnya ketersediaan daging, data OECD-FAO Agricultural Outlook 2021-2030 menyatakan bahwa tingkat konsumsi daging ayam di Indonesia masih rendah dibandingkan negara ASEAN lainnya [3]. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan produksi daging ayam perlu ditingkatkan, terutama ayam buras.

Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan produksi ayam buras adalah dengan pemanfaatan teknologi mesin tetas (inkubator telur). Pengeraman dengan cara tradisional oleh induk ayam memerlukan waktu 21 hari. Jika induk ayam langsung dipisahkan dari anak-anak ayam yang baru menetas, maka induk ayam baru dapat bertelur lagi paling cepat dalam waktu 2-3 minggu. Sedangkan dengan memanfaatkan mesin tetas, ayam dapat bertelur lagi dalam waktu 2-3 minggu setelah telur terakhir dalam satu periode bertelur. Dengan demikian, pemanfaatan mesin tetas dapat membuat ayam dapat menjadi lebih produktif untuk bertelur dibandingkan dengan cara tradisional.

Berbeda dengan penetasan konvensional dengan cara pengeraman, penggunaan mesin tetas dapat meningkatkan tingkat keberhasilan penetasan. Pada umumnya, tingkat keberhasilan pengeraman alami adalah sekitar 60%, sedangkan dengan menggunakan mesin tetas yang memiliki desain dan kendali sistem yang tepat, tingkat keberhasilan dapat meningkat menjadi 70-90%. Oleh karena itu, perlu dilakukan kajian yang mendalam untuk mendapatkan performa mesin tetas yang maksimal.

Pada penelitian ini, kajian yang dilakukan fokus pada sistem kendali suhu mesin tetas. Banyak penelitian mengenai kendali suhu mesin tetas yang sudah pernah dilakukan sebelumnya, diantaranya dibahas berikut ini. Penelitian [4] dan [5] merancang sistem kendali suhu mesin tetas dengan metode *ON/OFF*. Penelitian [6] juga

menggunakan kendali *ON/OFF* tetapi fokus kepada kajian optimalisasi posisi *heater* dan *cooler* terhadap perubahan kondisi suhu pada mesin tetas telur. Penelitian [7] melakukan kajian perbandingan kinerja mesin penetas telur otomatis dengan menggunakan kontrol *ON/OFF* dan kontrol PWM (*Pulse Width Modulation*) [8]. Sinyal PWM untuk mengendalikan tegangan pemanas bekerja dengan cara mengatur naik atau turun tegangan secara gradual, sehingga dicapai suhu *setpoint*. Penelitian [9] merancang kendali suhu mesin tetas menggunakan kontroler PID [10] [11] [12] dengan metode tuning *trial-error* [13]. Penelitian [14] melakukan kajian kendali suhu mesin tetas menggunakan sistem kendali logika Fuzzy tipe Sugeno orde nol [15]. Penelitian [16] juga menggunakan logika Fuzzy tetapi jenis *rule-based*. Dan penelitian [17] merancang sistem kendali suhu dan kelembaban udara penetas ayam berbasis PLC (*Programmable Logic Controller*) [18] [19]. Semua penelitian tersebut di atas menyatakan bahwa kendali suhu dapat berjalan dengan baik.

Berbeda dengan penelitian [4-7] dan [14, 16, 17], sistem kendali suhu mesin tetas yang dirancang pada penelitian ini menggunakan kontroler PID. Dan berbeda dengan PID pada penelitian [9] yang melakukan pengaturan konstanta PID secara manual (*trial dan error*), pada penelitian ini, pengaturan konstanta PID dilakukan dengan menggunakan metode *Ziegler Nichols Open Loop Step Response* [20, 21]. Metode tuning *Ziegler Nichols Open Loop Step Response*, penentuan konstanta menjadi lebih terukur dan presisi dibandingkan dengan metode *trial dan error*. Pada penelitian ini, mesin tetas juga dilengkapi dengan kendali kelembaban, kipas untuk meratakan panas dan juga sistem penggerak rak telur otomatis.

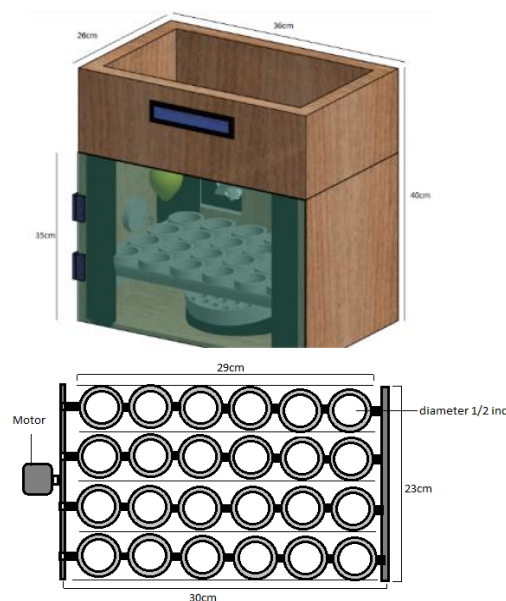
Selanjutnya pada artikel ini, di bagian metode penelitian dijelaskan mengenai desain mesin tetas yang dirancang, kontroler PID, dan metode tuning *Ziegler Nichols Open Loop Step Response*. Pada bagian hasil dan pembahasan ditunjukkan hasil rancangan, pembahasan mengenai mekanisme tuning dan kinerja kendali suhu pada mesin tetas, dan ditutup dengan kesimpulan hasil penelitian di bagian kesimpulan.

2. METODE PENELITIAN

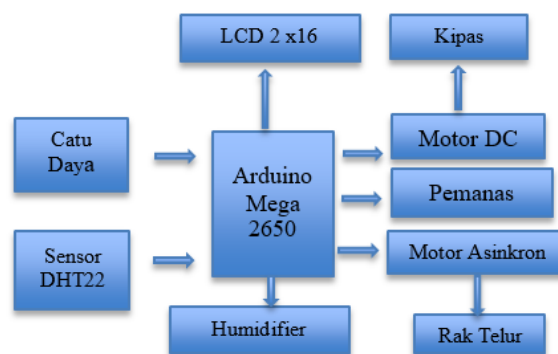
Penelitian yang dilakukan terdiri atas tiga tahapan utama. Pertama adalah perancangan perangkat mesin tetas beserta perangkat elektronik pendukung. Kedua adalah perancangan kontroler PID untuk melakukan otomatisasi kendali suhu. Ketiga adalah pengaturan konstanta PID dengan metode *Ziegler Nichols Open Loop Step Response*.

A. Desain Mesin Tetas

Kerangka yang digunakan dalam pembuatan mesin tetas telur ini menggunakan besi siku dibentuk persegi empat dan disertai sekat-sekat besi yang digunakan untuk memasang motor asinkron untuk memutar rak telur. Bahan yang digunakan untuk menutup permukaan luar adalah triplek yang dilapisi aluminium foil 4 mm dengan ukuran tinggi kotak 40cm, panjang kotak 36 cm, dan lebar kotak 26 cm. Fungsi dari triplek 4 mm ini adalah untuk menahan cahaya matahari yang masuk ketika pengujian dilakukan di luar ruangan. Desain 3D mesin tetas yang dirancang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain mesin tetas tampak luar (atas), dan rak telur otomatis (bawah)



Gambar 2. Diagram blok perangkat elektronik

Blok diagram pada gambar 2 menunjukkan komponen elektronik utama pendukung sistem kendali mesin tetas. Pada blok diagram terdapat 1 *input* yaitu sensor DHT22. Sensor DHT22 berfungsi untuk melakukan pembacaan suhu dan kelembaban di dalam mesin tetas. Pemrosesan kendali dilakukan oleh mikrokontroler Arduino Mega2560. Komponen keluaran berupa LCD untuk layar monitor, 2 kipas DC untuk mengatur persebaran panas, motor asinkron untuk menggerakkan rak telur, pemanas berupa 2 lampu pijar

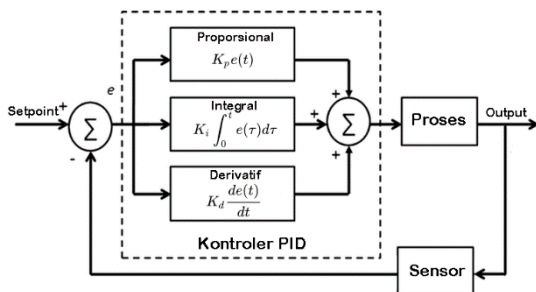
10 watt, *humidifier* untuk mengatur kelembapan. Sistem kendali dikhususkan untuk telur ayam buras yang memerlukan suhu normal 37°C-39°C dan kelembapan udara di atas 60%-80% [14]. Kendali suhu dilakukan dengan kontroler PID sedangkan kelembapan dengan kontroler ON/OFF Gap dengan celah 5%. Nilai suhu dan kelembapan dan hitungan hari ditampilkan pada LCD.

B. Kontroler PID

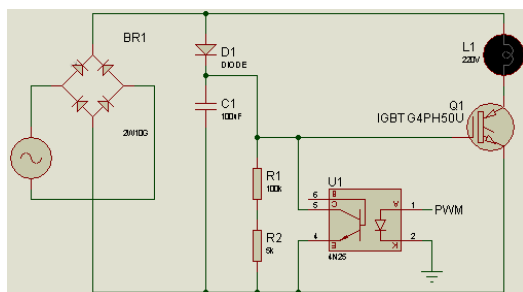
Kontroler PID merupakan sistem kendali dengan mekanisme umpan balik yang biasanya digunakan pada sistem kendali dalam dunia industri. Kontroler PID secara kontinu menghitung dan meminimalisir selisih antara nilai *setpoint* dengan nilai terukur, selisih ini disebut dengan *error* [10] [11] [12] Blok diagram sistem kendali PID ditunjukkan pada Gambar 3.

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

Persamaan kontroler PID ditunjukkan pada persamaan (1). $u(t)$ adalah keluaran kendali, $e(t)$ adalah error keluaran sistem terhadap setpoint, t adalah waktu (detik), τ adalah waktu akumulatif error, dan K_p, K_i, K_d masing-masing adalah konstanta atau koefisien proporsional, integral, dan derivatif, semuanya positif. Dengan penyesuaian atau tuning nilai konstanta tersebut, kontroler PID dapat digunakan sesuai dengan kebutuhan proses kendali.



Gambar 3. Blok diagram sistem dengan kontroler PID



Gambar 4. Skematik Kontrol PWM AC 220 V [9]

Keluaran kontroler PID berupa sinyal PWM pengendali tegangan yang diberikan ke IC optokopler 4N25 pada skematik kontrol PWM AC 220 V yang ditunjukkan pada Gambar 4. Pada skematik ini tegangan

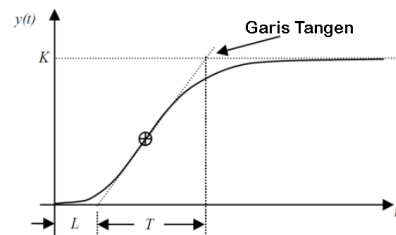
AC 220 V dikonversikan menjadi tegangan DC dan dikendalikan dengan antarmuka transistor IGBT G4H50U.

C. Ziegler Nichols Open Loop Step Response

Metode tuning konstanta $K_p, K_i,$ dan K_d dengan *Ziegler Nichols Open Loop Step Response* juga dikenal sebagai metode reaksi proses, karena metode ini menguji reaksi proses *open loop* terhadap perubahan nilai variabel keluaran [20, 21]. Setelah nilai respons proses tertentu ditemukan, nilai tersebut dimasukkan ke dalam persamaan Ziegler-Nichols pada Tabel 1, dengan konstanta pengali tertentu untuk penguatan pengontrol dengan tindakan P, PI, atau PID.

Tabel 1 Parameter PID Ziegler Nichols Open Loop

Tipe Kontrol	K_p	T_i	T_d
P	T/L	~	0
PI	0.9T/L	L/0.3	0
PID	1.2T/L	2L	0.5L

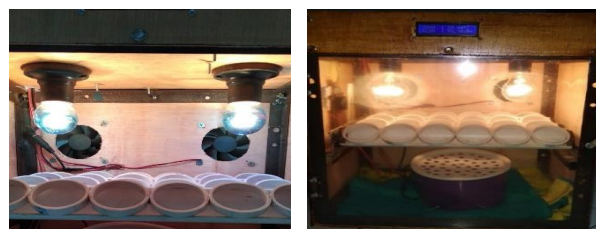


Gambar 5. Step Respons

Dari pengujian open loop dengan masukan step, diperoleh *time delay* (L) atau disebut juga *dead time*, dan *time constant* (T) seperti ditunjukkan grafik step respons pada Gambar 5. *Time delay* adalah waktu yang dibutuhkan oleh sistem untuk merespons masukan, idealnya adalah waktu yang berpotongan dengan bagian bawah garis tangen, sedangkan *time constant* adalah waktu sistem mulai merespons masukan hingga waktu perpotongan garis tangen dengan nilai *steady state*.

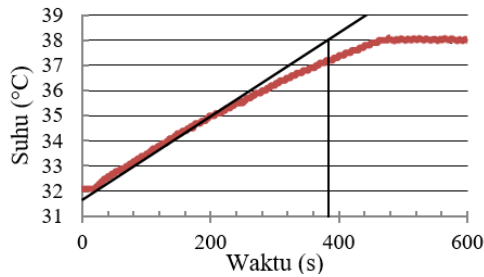
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini berhasil dirancang mesin tetas dengan sistem kendali suhu PID dan sistem putar rak otomatis. Pada Gambar 6 ditunjukkan mesin tetas yang telah dirancang.

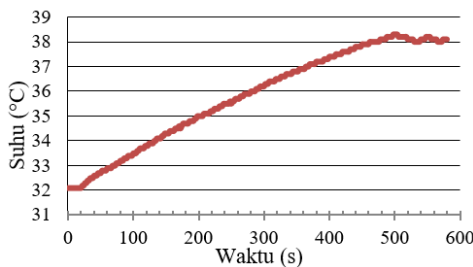


Gambar 6. Hasil rancangan mesin tetas

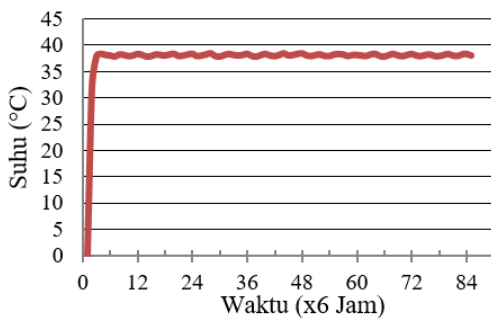
Pada Gambar 7 ditunjukkan respons step pengujian open loop dengan masukan step berupa tegangan 160 V, suhu awal 32.1 °C. Dengan pendekatan garis tangen seperti pada Gambar 5, diperoleh *time delay* sekitar 20 detik, dan *time constant* sekitar 385 detik. Penentuan nilai K_p , K_i , dan K_d kontroler PID dengan *Ziegler Nichols Open Loop Step Response* menggunakan ketentuan pada Tabel 1, yaitu $K_p = 1.2T/L$, $K_i = 2L$; dan $K_d = 0.5L$, dengan T adalah *time constant* dan L adalah *time delay*. Pada pengujian ini T = 385 dan L = 20 dan diperoleh nilai $K_p = 23.1$, $K_i = 40$ dan $K_d = 10$.



Gambar 7. Respons step suhu mesin tetas telur



Gambar 8. Pengujian kendali suhu PID dengan tuning *Ziegler Nichols Open Loop Step Response*



Gambar 9. Pengujian kendali suhu dengan kontroler PID selama durasi penetasan (21 hari)

Suhu ideal yang dibutuhkan oleh telur ayam adalah 37 °C – 39 °C agar telur ayam menetas secara normal, maka pada mesin tetas telur ini diatur nilai *setpoint* sebesar 38 °C. Dengan menggunakan konstanta K_p , K_i , dan K_d melalui tuning *Ziegler Nichols Open Loop Step Response*, kontroler PID berhasil melakukan pengendalian dengan tepat seperti ditunjukkan pada grafik pengujian pada Gambar 8.

Untuk mengamati performa kontroler PID untuk mengendalikan suhu selama proses penetasan maka dilakukan pengujian sesuai dengan durasi penetasan,

yaitu 21 hari. Gambar 9 menunjukkan kinerja kendali suhu yang dapat berjalan sesuai dengan target.

Data suhu pada mesin tetas telur diambil setiap 6 jam sekali, perubahan suhu mesin tetas yang menghasilkan suhu > 37,5 °C cenderung pada siang hari karena suhu siang hari lebih panas dari malam dan pagi hari oleh karena itu pengamatan di siang hari suhu tertinggi mencapai 38,5°C, sedangkan pengamatan yang dilakukan pada malam dan pagi hari suhu terendah 37,5 °C, Perubahan suhu tersebut masih memenuhi syarat untuk menetas telur karena secara teori suhu yang dibutuhkan telur ayam adalah 37 °C – 39 °C. Jadi perubahan suhu di luar mesin tetas sedikit berpengaruh terhadap kestabilan suhu di dalam mesin tetas karena berdasarkan hasil pengujian selama 21 hari, suhu pada siang hari lebih tinggi dibandingkan malam dan pagi hari.

Dibandingkan dengan penelitian-penelitian [4-7] yang menggunakan kendali ON/OFF, kendali suhu dengan kontroler PID lebih baik, karena dengan kendali PID dapat dicapai keadaan suhu stabil dengan osilasi minimal, sedangkan dengan metode ON/OFF osilasi suhu bisa mencapai 1 °C untuk menghindari *flicker*. Jika dibandingkan dengan penelitian [9] performa kendali suhu relatif sama, hanya saja dengan menggunakan metode tuning *Ziegler Nichols Open Loop Step Response*, penentuan konstanta menjadi lebih terukur dan presisi dibandingkan dengan metode *trial and error*. Dibandingkan dengan penelitian [14,16], kontroler PID relatif lebih sederhana, karena penggunaan logika fuzzy pada penelitian [14,16] perlu menentukan himpunan keanggotaan dan membuat aturan fuzzy, dan kedua hal ini memerlukan proses yang cukup rumit, dan khusus untuk penelitian mesin tetas ini, performa kendali suhu relatif sama. Dan penelitian ini memiliki performa lebih baik dibandingkan dengan penelitian [17] yang menggunakan PLC, namun sistem kendali masih berkonsep ON/OFF sama seperti [4-7].

4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini dirancang mesin tetas telur ayam buras dengan sistem kendali suhu menggunakan kontroler PID, dan metode tuning konstanta PID dilakukan dengan metode *Ziegler Nichols Open Loop Step Response*. Dengan masukan step pengujian adalah tegangan 160 V, suhu awal 32,1 °C. Dengan pendekatan garis tangen seperti pada Gambar 5, diperoleh *time delay* sekitar 20 detik, dan *time constant* sekitar 385 detik. Penentuan nilai K_p , K_i , dan K_d kontroler PID dengan *Ziegler Nichols Open Loop Step Response* diperoleh nilai $K_p = 23.1$, $K_i = 40$ dan $K_d = 10$. Pengujian konstanta menunjukkan bahwa kontroler PID berhasil melakukan

pengendalian suhu dengan tepat. Pada pengujian proses penetasan dalam waktu 21 hari, kendali suhu berjalan dengan baik, dan pengaruh perubahan suhu siang dan malam tidak signifikan mempengaruhi kinerja kontroler PID. Performa sistem kendali relatif lebih baik dibandingkan dengan metode ON/OFF, lebih sederhana dibandingkan dengan logika fuzzy dan penggunaan metode tuning Ziegler *Nichols Open Loop Step Response*, penentuan konstanta PID menjadi lebih terukur dan presisi dibandingkan dengan metode *trial* dan *error*.

5. REFERENSI

- [1] B. P. S. (BPS), "Produksi Telur Ayam Buras menurut Provinsi (Ton), 2019-2021," Badan Pusat Statistik (BPS), Jakarta, 2022.
- [2] B. P. S. (BPS), "Produksi Daging Ayam Buras menurut Provinsi (Ton), 2019-2021," Badan Pusat Statistik (BPS), Jakarta, 2022.
- [3] C. I. "Konsumsi Daging Ayam dan Daging Sapi di RI Terendah se-Asean," 24 November 2021. [Online]. Available: <https://www.cnnindonesia.com/ekonomi/20211123184817-92-725124/konsumsi-daging-ayam-dan-daging-sapi-di-ri-terendah-se-asean>.
- [4] M. R. Wirajaya, S. Abdussamad and I. Z. Nasibu, "Rancang bangun mesin penetas telur otomatis menggunakan mikrokontroler arduino uno," *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 2, pp. 24-29, 2020.
- [5] N. Susanti, E. A. Kuncoro and H. Hersyamsi, "Sistem Pengatur Suhu Pada Mesin Penetas Telur Tipe Portable," *Jurnal Teknik Pertanian Sriwijaya*, vol. 1, pp. 70-74, 2012.
- [6] N. Y. D. Setyaningsih and A. N. Mustofa, "Optimalisasi Posisi Heater Dan Cooler Terhadap Perubahan Kondisi Suhu Pada Inkubator Tetas Penetas Telur," *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro dan Ilmu Komputer*, vol. 10, pp. 281-286, 2019.
- [7] K. Karsid, A. W. Ramadhan and R. Aziz, "Perbandingan kinerja mesin penetas telur otomatis dengan menggunakan kontrol on-off dan kontrol PWM," *Matrix: Jurnal Manajemen Teknologi dan Informatika*, vol. 8, pp. 1-5, 2018.
- [8] J. Sun, "Pulse-width modulation," in *Dynamics and control of switched electronic systems*, Springer, 2012, pp. 25-61.
- [9] M. Rosa and A. Indra, "Peningkatan Efisiensi Pembibitan Ayam Buras Menggunakan Mesin Tetas Telur Otomatis Dengan Kendali Temperatur Berbasis Pid Dan Back-Up Daya Solar Cell," in *Seminar Nasional Teknologi Terapan (SNTT) 2016*, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2016.
- [10] K. J. Åström, T. Hägglund and K. J. Astrom, *Advanced PID control*, vol. 461, ISA-The Instrumentation, Systems, and Automation Society Research Triangle Park, 2006.
- [11] S. Skoczowski, S. Domek, K. Pietruszewicz and B. Broel-Plater, "A method for improving the robustness of PID control," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 52, pp. 1669-1676, 2005.
- [12] F. Memon and C. Shao, "An optimal approach to online tuning method for PID type iterative learning control," *International Journal of Control, Automation and Systems*, vol. 18, pp. 1926-1935, 2020.
- [13] S. M. Cinar, Z. Balci and I. Yabanova, "Performing speed control of a DC motor with auto-tuning PID," *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 19, pp. 690-696, 2019.
- [14] I. Larasati, N. Y. D. Setyaningsih and M. Iqbal, "Sistem Kendali Suhu Penetas Telur Ayam Berbasis Java dan Fuzzy Logic Control," *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro dan Ilmu Komputer*, vol. 10, pp. 127-134, 2019.
- [15] S.-H. Tsai and Y.-W. Chen, "A novel identification method for Takagi--Sugeno fuzzy model," *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 338, pp. 117-135, 2018.
- [16] A. S. Priatna and T. D. Hendrawati, "Sistem Kendali Suhu pada Inkubator Telur Ayam Melalui Telegram dengan Metode Fuzzy Logic," in *SEMNASTERA (Seminar Nasional Teknologi dan Riset Terapan)*, 2020.
- [17] B. Syah and others, "Rancang Bangun Sistem Kendali Suhu Dan Kelembaban Udara Penetas Ayam Berbasis PLC (Programmable Logic Controller)," *Electrician*, vol. 2, pp. 25-32, 2008.
- [18] M. G. Hudedmani, R. M. Umayal, S. K. Kabberalli and R. Hittalamani, "Programmable logic controller (PLC) in automation," *Advanced Journal of Graduate Research*, vol. 2, pp. 37-45, 2017.
- [19] E. R. Alphonsus and M. O. Abdullah, "A review on the applications of programmable logic controllers (PLCs)," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 60, pp. 1185-1205, 2016.
- [20] K. J. Åström and T. Hägglund, "Revisiting the Ziegler--Nichols step response method for PID control," *Journal of process control*, vol. 14, pp. 635-650, 2004.
- [21] D. Valério and J. S. Da Costa, "Tuning of fractional PID controllers with Ziegler--Nichols-type rules," *Signal processing*, vol. 86, pp. 2771-2784, 2006.