

BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISA ALAT

5.1 Pengukuran dan Pengujian

Untuk memastikan sistem pengendalian suhu pada kandang anak ayam berfungsi sesuai tujuan yang telah dirancang, dilakukan rangkaian pengukuran dan pengujian. Pengujian ini mencakup beberapa aspek penting seperti fungsionalitas, perbandingan sensor, dan konsistensi data. Setiap pengujian dirancang untuk menilai parameter-parameter penting yang menggambarkan keberhasilan pelaksanaan sistem, sekaligus mengidentifikasi potensi kekurangan alat yang perlu diperbaiki.

5.2 Tujuan dan Parameter Pengujian

Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa sistem pengendalian suhu pada kandang anak ayam menggunakan mikrokontroler arduino nano berbasis PID bekerja sesuai rancangan. Fokus utama dari pengujian ini adalah untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam menjaga suhu kandang mendekati nilai setpoint, serta memastikan respon otomatis aktuator seperti PTC Heater dan kipas angin terhadap perubahan suhu dan kelembapan.

Selain itu, pengujian bertujuan mampu menilai efektivitas kontrol PID dibandingkan metode *on-off* serta memastikan data yang ditampilkan pada LCD menggambarkan kondisi aktual kandang secara akurat. Adapun parameter-parameter yang diuji dalam pengujian ini, diantara lain:

1. Parameter Suhu
Mengetahui apakah suhu dalam kandang yang diambil dari sensor DHT22 dengan *Thermo-Hygrometer* sebagai pembanding akurasi.
2. Kinerja Modul AC Light Dimmer
Untuk memastikan bahwa modul dimmer dapat mengatur daya PTC Heater berdasarkan sinyal PWM dari arduino nano.
3. Parameter Waktu dari Tiap Tuning PID
Untuk mengetahui seberapa cepat sistem merespon perubahan suhu dengan penentuan nilai K_p , K_i , dan K_d .

5.3 Prosedur dan Lingkungan Pengujian

Pengujian dilakukan pada lingkungan yang merepresentasikan kondisi kandang anak ayam skala kecil dengan pengaruh suhu dan kelembapan alami, tanpa ketergantungan jaringan WiFi karena Arduino Nano tidak memiliki modul konektivitas. Hal ini menjadikan alat ini unggul untuk diterapkan di daerah pedesaan atau pelosok yang tidak memiliki akses internet. Meskipun arduino nano tidak terhubung ke jaringan WiFi, upload program tetap harus dilakukan melalui kabel USB yang menghubungkan mikrokontroler arduino nano ke laptop, kabel USB ini hanya digunakan saat proses pemograman bukan bagian dari operasional sistem setelah alat dipasang.

Adapun langkah-langkah pengujian disusun dengan mengacu pada alur penggunaan sistem secara langsung, dari proses aktivasi alat, hingga pemantauan hasil akhir tuning PID. Berikut adalah langkah-langkah pengujian dilakukan sebagai berikut:

1. Pastikan semua perangkat keras seperti arduino nano, LCD, modul, ptc heater, kipas angin, dan lainnya terpasang sesuai rancangan wiring.
2. Menyalakan sistem dengan sumber daya melalui alat dengan kabel AC cord 3P dengan Socket AC 3P + Switch.
3. Sistem akan menyala dengan dengan tanda LCD. Yang menampilkan pembacaan suhu dan kelembapan awal.
4. Mulai dengan memasukkan setpoint suhu yang diinginkan pengguna melalui keypad. Semisal akan memasukkan nilai suhu pada 34°C;
 - a. Tekan simbol 'A' berfungsi untuk masuk ke mode pengaturan setpoint suhu kapan pun pengguna ingin mengubah nilai setpoint. Saat tombol ini ditekan, sistem akan secara otomatis menampilkan tampilan input baru dan menonaktifkan heater sementara untuk keamanan..
 - b. Tekan simbol 'B' untuk beralih tampilan antara mode normal (monitoring suhu dan kelembapan) dan mode tampilan parameter PID (Kp, Ki, Kd, error, dan output PID). Tombol ini hanya aktif saat sistem berada di luar mode input.

- c. Tekan simbol 'D' sebagai simbol titik desimal, memungkinkan pengguna untuk memasukkan nilai suhu dalam angka desimal, misalnya 34.5°C. Sistem membatasi hanya satu titik desimal yang dapat dimasukkan agar nilai tetap valid.
 - d. Tekan simbol '#' (pagar) digunakan sebagai tombol konfirmasi atau enter. Setelah pengguna selesai memasukkan nilai suhu yang diinginkan, menekan tombol '#' akan menyimpan nilai tersebut ke dalam sistem, melakukan validasi terhadap batas suhu minimum dan maksimum yang diizinkan, serta mereset variabel PID agar pengendalian berjalan secara optimal berdasarkan nilai setpoint yang baru.
 - e. Tekan simbol '*' (bintang) berfungsi sebagai tombol hapus atau reset input. Ketika pengguna melakukan kesalahan saat mengetik angka pada keypad, tombol ini akan menghapus seluruh input yang sedang diketik dan memungkinkan pengguna untuk mengulang pengisian dari awal.
5. Pemantauan respon kendali di LCD serta perubahan suhu dan kelembapan apakah sudah mencapai nilai suhu yang telah diinginkan.
 6. Jika sudah sesuai telah selesai, dan akan dilakukan pengulangan nilai setpoint suhu dengan menekan simbol (A) pada keypad, dan nilai akan awal tampilan kosong.

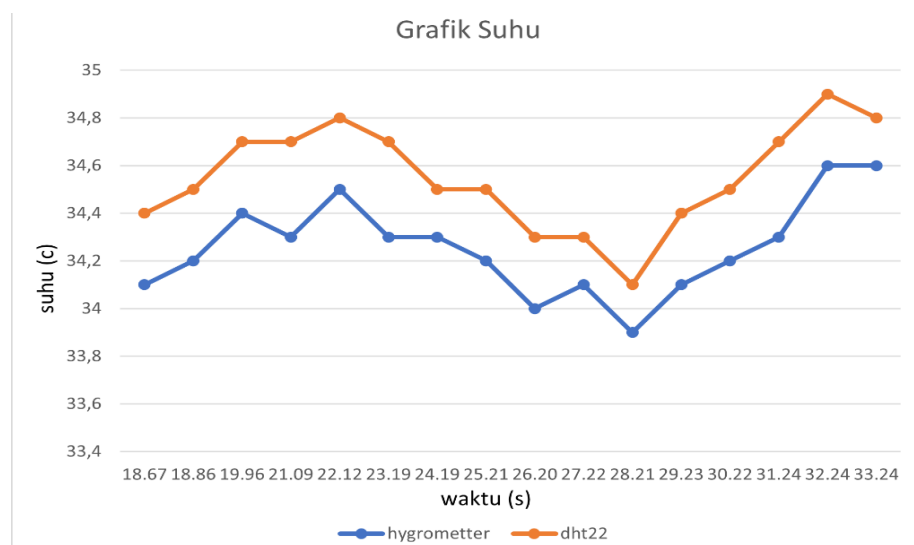
5.4 Pengujian Alat

5.4.1 Pengujian Sensor DHT22

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi tingkat akurasi pembacaan suhu dari sensor DHT22 yang digunakan dalam sistem. Data pembandingan diambil dari alat Thermo-Hygrometer sebagai referensi. Pengukuran dilakukan sebanyak 16 kali dalam rentang waktu tertentu, dan setiap data dicatat dalam satuan derajat Celsius (°C). Dari hasil tersebut diperoleh selisih nilai antara sensor DHT22 dan Thermo-Hygrometer untuk kemudian dihitung error relatif (E_r) dari setiap pengukuran.

Tabel 5- 1 Hasil Pengujian Perbandingan Data Suhu

No.	Times (s)	Thermo- Hygrometer	DHT22	Ea = Selisih	Er = Error relatif
1	18.67	34,1	34,4	0,3	0,88
2	18.86	34,2	34,5	0,3	0,88
3	19.96	34,4	34,7	0,3	0,87
4	21.09	34,3	34,7	0,4	1,17
5	22.12	34,5	34,8	0,3	0,87
6	23.19	34,3	34,7	0,4	1,17
7	24.19	34,3	34,5	0,2	0,58
8	25.21	34,2	34,5	0,3	0,88
9	26.20	34	34,3	0,3	0,88
10	27.22	34,1	34,3	0,2	0,59
11	28.21	33,9	34,1	0,2	0,59
12	29.23	34,1	34,4	0,3	0,88
13	30.22	34,2	34,5	0,3	0,88
14	31.24	34,3	34,7	0,4	1,17
15	32.24	34,6	34,9	0,3	0,87
16	33.24	34,6	34,8	0,2	0,58
17	Rata-rata error				0,86



Gambar 5. 1 Grafik Perbandingan Suhu

Berdasarkan hasil pengujian sensor DHT22 setelah dilakukan perbandingan dengan alat Thermo-Hygrometer. Mengenai hal perhitungan presentase *error* dari Tabel 5-1 mendapatkan perhitungan sebagaimana berikut:

Persamaan rumus galat absolute (selisih)

$$Ea = |Xi - Xp|$$

Persamaan rumus rata-rata galat relatif

$$Er = \frac{Ea}{Xp} \times 100 = \frac{|Xi - Xp|}{Xp} 100$$

Dimana:

Ea = galat absolute Xi = nilai dari sensor DHT22

Er = galat relatif% Xp = nilai dari Thermo-Hygrometer

Dengan mendapatkan dengan hasil seperti Tabel 5-1, berikut hasil perhitungan dari persamaan rumus galat absolute dan galat relatif:

Deketahui bahwa:

$$Xi = 34,4$$

$$Xp = 34,1$$

$$Ea = |34,4 - 34,1| = 0,3$$

$$Er = \frac{0,3}{34,1} \times 100 = 0,88$$

Berdasarkan data pengujian, nilai rata-rata *error* relatif (Er) dari sensor DHT22 terhadap Thermo-Hygrometer adalah sebesar 0,86%, yang masih dalam kategori tingkat kesalahan rendah dan dapat diterima untuk kebutuhan sistem monitoring suhu pada kandang anak ayam.

5.4.2 Pengujian Modul AC Light Dimmer Terhadap PTC Heater

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja modul AC Light Dimmer dalam mengatur sebuah besaran daya yang diberikan ke elemen pemanas Heater. Proses ini diuji dengan memberikan variasi nilai keluaran PWM dari 0 hingga 100 secara bertahap, yang mewakili persentase daya yang dikirim dari mikrokontroler arduino nano melalui sinyal PWM.

Tabel 5- 2 Hasil Load Modul AC Light Dimmer

Output Load AC Light Dimmer	Hasil Load
0	Mati
5	Mati
10	Mati
15	Mati
20	Redup
25	Redup
30	Nyala
35	Nyala
40	Nyala
50	Nyala
60	Nyala
70	Nyala
80	Nyala
90	Nyala
100	Nyala

Setiap perubahan nilai PWM diamati secara langsung terhadap kondisi visual dari elemen pemanas heater, dengan kategori: Mati, Redup, dan Nyala. Dari Tabel 5-2 dapat dilihat bahwa PTC Heater akan mulai menunjukkan respon redup pada nilai PWM sekitar 20 hingga 25 dan akan menyala normal mulai dari nilai PWM 30 keatas.

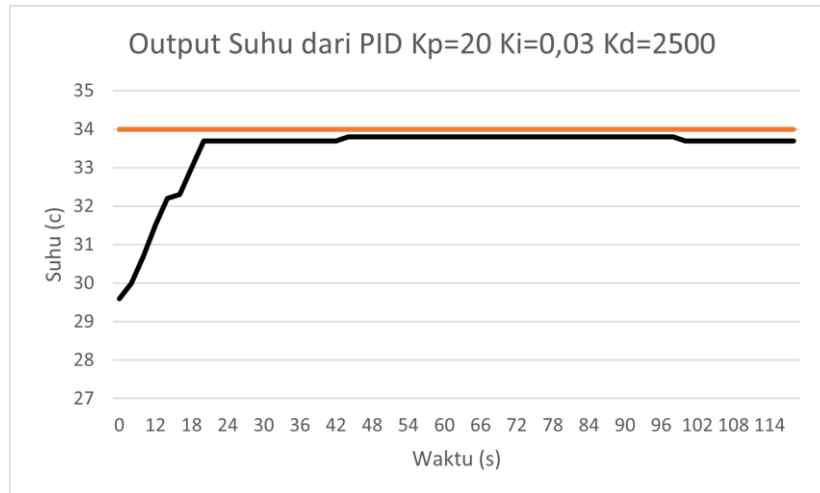
5.4.3 Pengujian Tuning PID pada Kandang Anak Ayam

Pengujian kali ini bertujuan agar memperoleh konfigurasi parameter *proportional* (K_p), *integral* (K_i), dan *derivatif* (K_d) yang optimal dalam menjaga suhu ruangan dalam kandang anak ayam tersebut agar mendekati dan bertahan pada nilai setpoint yang ditentukan melalui keypad.

Pada percobaan tuning ini bersifat eksperimen langsung atau *trial and error* pada sistem. Proses dimulai dengan memberikan nilai awal pada parameter K_p untuk melihat seberapa cepat sistem dapat merespon *error* dan mendekati suhu setpoint. Selanjutnya pada parameter K_i ditambahkan untuk mengoreksi error kumulatif sehingga dapat mengurangi deviasi jangka panjang. Apabila terdapat lonjakan suhu ataupun *overshoot* yang melebihi batas toleransi setpoint, maka parameter K_d ini disesuaikan untuk meredam perubahan mendadak tersebut dan juga bisa mempercepat kestabilan sistem.

1. Percobaan Tuning PID Pertama

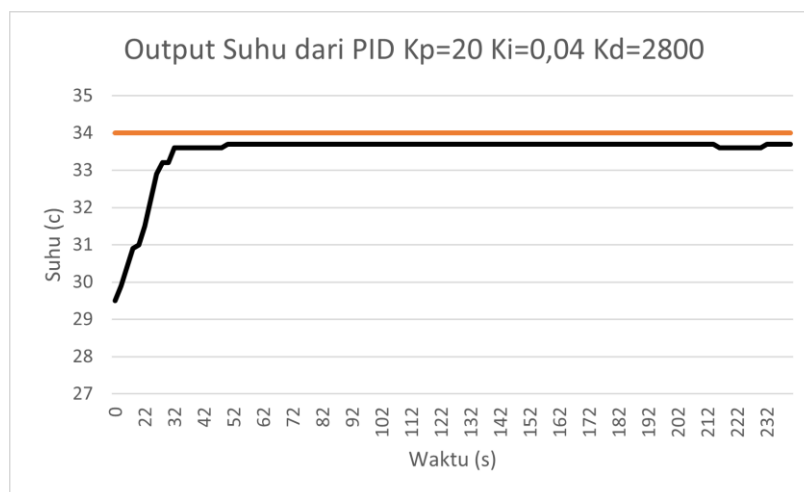
Pada percobaan pertama dengan parameter PID $K_p = 20$ $K_i = 0,03$ dan $K_d = 2500$, grafik menunjukkan bahwa suhu awal sebesar $29\text{ }^{\circ}\text{C}$ meningkat secara bertahap hingga mendekati $33,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, kemudian bertahan cukup stabil di sekitar nilai tersebut. Meskipun sistem mampu mendekati setpoint $34\text{ }^{\circ}\text{C}$, terdapat sedikit deviasi (sekitar $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ di bawah setpoint) yang menunjukkan bahwa nilai parameter masih kurang optimal untuk benar-benar mempertahankan suhu tepat pada setpoint. Dengan demikian, meskipun kestabilan relatif tercapai, akurasi kontrol masih perlu ditingkatkan dengan penyesuaian parameter PID lebih lanjut.



Gambar 5. 2 Grafik Hasil Tuning PID Pertama

2. Percobaan Tuning PID ke-Dua

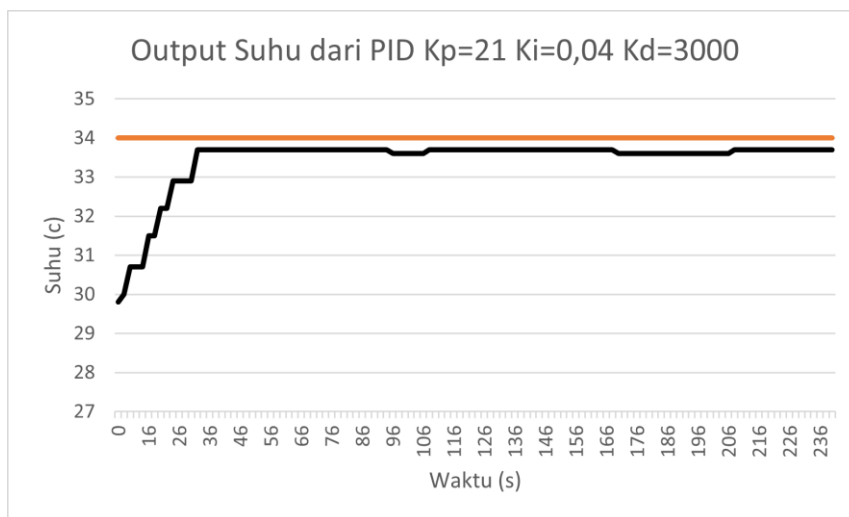
Pada percobaan kedua dengan parameter PID $K_p = 20$ $K_i = 0,04$ dan $K_d = 2800$, grafik menunjukkan bahwa suhu awal sebesar 29°C meningkat lebih cepat dibandingkan percobaan sebelumnya dan mampu mencapai nilai sekitar $33,8^\circ\text{C}$, yang mendekati setpoint 34°C . Sistem cenderung stabil di sekitar nilai tersebut dengan deviasi kecil (sekitar $0,1\text{--}0,2^\circ\text{C}$) dan fluktuasi yang relatif minim. Hal ini menunjukkan adanya peningkatan performa pengendalian dibandingkan percobaan pertama, meskipun kestabilan penuh pada titik setpoint belum tercapai. Dengan demikian, penyetelan parameter PID masih diperlukan agar suhu benar-benar dapat dipertahankan tepat pada nilai setpoint tanpa deviasi.



Gambar 5. 3 Grafik Hasil Tuning PID ke-Dua

3. Percobaan Tuning PID ke-Tiga

Pada percobaan ketiga dengan parameter PID $K_p = 21$ $K_i = 0,04$ dan $K_d = 3000$, hasil pengujian menunjukkan peningkatan kestabilan yang lebih baik dibandingkan dua percobaan sebelumnya. Suhu meningkat dengan laju yang lebih cepat hingga mencapai sekitar 33,7–33,8 °C, lalu bertahan stabil dengan fluktuasi yang sangat kecil (sekitar $\pm 0,1$ °C). Respon sistem lebih cepat dalam meredam error, sehingga suhu mampu dipertahankan mendekati nilai setpoint. Namun demikian, masih terdapat sedikit offset karena suhu belum sepenuhnya mencapai 34 °C. Hal ini menandakan bahwa tuning PID sudah cukup optimal, tetapi masih memungkinkan dilakukan penyempurnaan lebih lanjut untuk menghilangkan error steady-state.

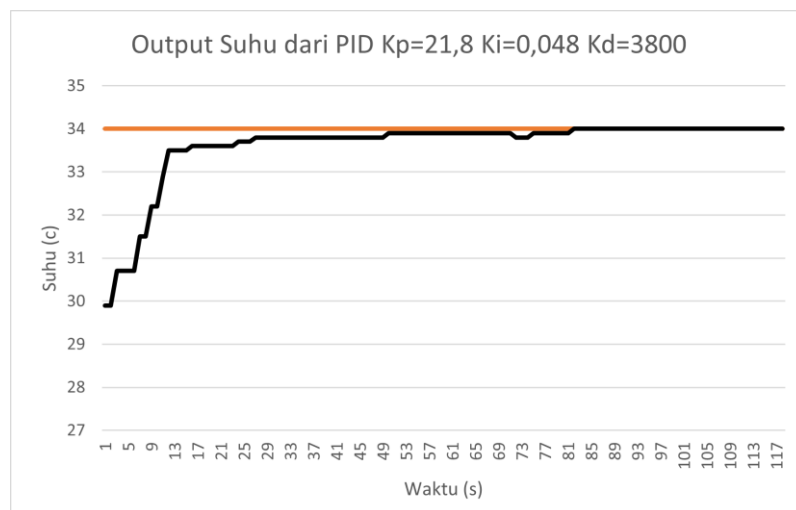


Gambar 5. 4 Grafik Hasil Tuning PID ke-Tiga

4. Percobaan Tuning PID ke-Empat

Berdasarkan hasil pengujian terakhir dengan parameter PID $K_p = 21,8$ $K_i = 0,048$ dan $K_d = 3800$, sistem menunjukkan kinerja yang paling optimal dibandingkan percobaan sebelumnya. Grafik pada Gambar 5.5 memperlihatkan bahwa suhu awal sebesar 30°C meningkat secara bertahap hingga mencapai setpoint pada 34°C. Proses kenaikan ini berlangsung dengan mulus tanpa adanya lonjakan (*overshoot*) yang signifikan, sehingga sistem mampu mencapai kondisi yang stabil dalam waktu sekitar 40–50 detik. Setelah suhu berada pada titik setpoint, sistem tetap mempertahankan kestabilan dengan deviasi yang sangat kecil, menandakan bahwa error steady-state berhasil ditekan.

Keberhasilan ini menunjukkan bahwa nilai K_p yang relatif besar berperan mempercepat respons sistem menuju setpoint, sedangkan nilai K_i yang kecil sudah cukup untuk menghilangkan error pada kondisi tunak tanpa menimbulkan osilasi. Sementara itu, nilai K_d yang tinggi berperan dominan dalam meredam perubahan cepat sehingga sistem tidak mengalami fluktuasi yang berlebihan. Kombinasi parameter tersebut menghasilkan kinerja sistem yang cepat, stabil, dan akurat sesuai dengan kebutuhan pengendalian suhu pada kandang ayam. Dengan demikian, konfigurasi PID ini dapat dinyatakan sebagai setting paling sesuai untuk mencapai kondisi suhu yang nyaman dan aman bagi anak ayam.



Gambar 5. 5 Grafik Hasil Tunning PID ke-Empat

Tabel 5- 3 Hasil Data Percobaan Tunning PID ke-Empat

No.	Times (s)	Set Point	Suhu (°C)	Output PID	Daya Heater	Error Selisih	Error Relatif
1	0	34	29,9	0	0,3	4,1	13,71
2	10	34	30,7	55,3	55	3,3	10,75
3	20	34	31,5	0	0	2,5	7,94
4	30	34	33,5	100	99	0,5	1,49
5	40	34	33,6	0	0	0,4	1,19
6	50	34	33,6	10,2	10	0,4	1,19
7	60	34	33,6	87,4	87	0,4	1,19

No.	Times (s)	Set Point	Suhu (°C)	Output PID	Daya Heater	Error Selisih	Error Relatif
8	70	34	33,7	10,4	10	0,3	0,89
9	80	34	33,7	10,1	10	0,3	0,89
10	90	34	33,7	0	0	0,3	0,89
11	100	34	33,8	8,7	8	0,2	0,59
12	110	34	33,8	88,6	88	0,1	0,59
13	120	34	33,9	8,2	8	0,1	0,29
14	130	34	33,9	8,2	8	0,1	0,29
15	140	34	33,9	8,6	8	0,1	0,29
16	150	34	33,9	9,1	9	0,1	0,29
17	160	34	33,9	7,9	0	0,1	0,29
18	170	34	34	7,9	0	0	0
19	180	34	34	7,9	0	0	0
20	190	34	34	7,9	0	0	0
21	200	34	34	7,9	0	0	0
22	210	34	34	7,9	0	0	0
23	220	34	34	7,9	0	0	0
24	230	34	34	7,9	0	0	0
25	240	34	34	7,9	0	0	0

Berikut dengan mencari data selisih perubahan suhu *error* selisih yang terjadi pada operasional alat berlangsung dengan menghitung menggunakan rumus yang sama pada Persamaan rumus galat absolute (selisih)

Diketahui nilai

$X_i = 34$ (nilai setpoint)

$X_p = 29,9$ (pembacaan suhu dari dht22)

$E_a = |X_i - X_p|$ (error selisih)

$E_a = |34 - 29,9| = 4,1$

$E_r = \frac{E_a}{X_p} \times 100$ (error relatif)

$E_r = \frac{4,1}{29,9} \times 100 = 13,71$

5.5 Analisis Sistem

5.5.1 Analisis Sensor DHT22

Berdasarkan hasil pengujian sensor DHT22 terhadap alat ukur Thermo Hygrometer sebagai pembanding, diperoleh rata-rata error relatif sebesar 0,86%. Nilai ini masih berada dalam rentang toleransi yang dapat diterima, mengingat sensor DHT22 memiliki spesifikasi akurasi $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ menurut datasheet resminya. Dengan nilai selisih suhu rata-rata sekitar $0,3^{\circ}\text{C}$, sensor DHT22 dapat dikatakan cukup akurat dan layak digunakan dalam sistem. Selain itu, hasil pembacaan sensor menunjukkan kestabilan yang baik dan tidak terdapat fluktuasi ekstrem yang dapat mengganggu proses kendali, yang mengindikasikan bahwa DHT22 mampu memberikan pembacaan suhu secara konsisten dari waktu ke waktu. Kecepatan respon sensor terhadap perubahan suhu juga terbilang memadai untuk aplikasi monitoring lingkungan secara real-time, meskipun tidak secepat sensor industri.

5.5.2 Analisis Modul AC Light Dimmer terhadap PTC Heater

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 5-2, dapat dianalisis bahwa modul AC Light Dimmer bekerja secara bertahap sesuai dengan prinsip pengendalian daya menggunakan TRIAC dan deteksi titik nol (*zero-crossing*). Nilai PWM yang dikirimkan dari mikrokontroler menentukan durasi penundaan penyalaan arus listrik setelah melewati titik nol gelombang AC.

Saat nilai PWM berada di bawah 20, daya yang dikirimkan ke beban (PTC Heater) belum mencukupi untuk memanaskan elemen secara signifikan, sehingga kondisi pemanas tetap mati. Mulai dari nilai PWM 20–25, PTC Heater mulai menunjukkan peningkatan suhu yang ringan ditandai dengan adanya respons hangat pada permukaan pemanas, meskipun belum mencapai tingkat pemanasan optimal menandakan bahwa arus listrik sudah mulai mengalir walau belum maksimal. Kemudian, saat PWM mencapai 30 ke atas, PTC Heater menyala secara penuh dan stabil, menandakan bahwa daya telah mencukupi untuk memanaskan elemen secara efektif.

Hal ini membuktikan bahwa modul AC Light Dimmer mampu mengatur tingkat daya secara bertahap, bukan sekadar fungsi hidup dan mati. Dengan demikian, sistem ini memberikan fleksibilitas dan efisiensi dalam penggunaan

energi, terutama ketika digunakan dalam pengaplikasian alat pengendalian suhu pada kandang anak ayam.

5.5.3 Analisis Tuning PID pada Kandang Anak Ayam

Berdasarkan keempat pengujian tuning PID, dapat disimpulkan bahwa performa kendali suhu sangat dipengaruhi oleh pemilihan parameter K_p , K_i , dan K_d yang sesuai. Pada tuning awal dengan nilai PID yang kecil, sistem mengalami kesulitan dalam mempertahankan kestabilan suhu, ditandai dengan suhu yang tidak konstan serta tidak mampu mencapai titik setpoint secara sempurna. Nilai K_p yang terlalu kecil membuat respon sistem lambat, sedangkan nilai K_i yang rendah tidak cukup untuk mengatasi kesalahan jangka panjang (steady-state error). Sementara itu, K_d yang terlalu kecil belum efektif meredam osilasi atau perubahan suhu yang tiba-tiba.

Pada tuning ketiga dan keempat, ketika nilai K_p dan K_d ditingkatkan secara proporsional dan K_i disesuaikan dengan kebutuhan sistem, performa pengendalian suhu menjadi lebih baik. Suhu aktual mendekati setpoint dan stabil tanpa overshoot yang berlebihan. Hal ini menunjukkan bahwa tuning PID yang tepat mampu mengendalikan elemen pemanas secara efisien untuk menjaga suhu sesuai kebutuhan ayam broiler.

Hasil dari percobaan keempat menjadi konfigurasi paling optimal karena menghasilkan kestabilan suhu terbaik, dengan respon cepat serta kestabilan yang konsisten. Nilai PID $K_p = 21,8$, $K_i = 0,048$, dan $K_d = 3800$ terbukti efektif dalam menjaga suhu tetap pada 34°C , mendekati nilai yang dibutuhkan dalam masa brooding ayam broiler. Dengan demikian, pengujian ini menunjukkan bahwa penerapan PID pada sistem ini dapat bekerja dengan baik jika dilakukan tuning parameter secara tepat.