Rancang Bangun Oven Pengering Tembakau Dengan Kontrol Kelembapan dan Suhu Menggunakan Metode PID

Sholehudin Hafid Hanafi[*1], Guntur Yanuar Astono[2], Septriandi Wirayoga[3]

[1,2,3]Program Studi Teknik Elektronika Kampus Kediri, Politeknik Negeri Malang, Indonesia
Email: [1]2241190039@student.polinema.ac.id, [2]guntur.astono@polinema.ac.id,
[3]yoga.septriandi@polinema.ac.id

Nomor Handphone : 085843953065

Abstrak

Pengeringan tembakau rajangan secara langsung di bawah sinar matahari memiliki kelemahan utama yaitu ketidakmampuan mengontrol suhu dan kelembapan, yang menyebabkan kualitas tembakau menurun dan durasi pengeringan lama (3–7 hari). Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun oven pengering tembakau berbasis PID yang mampu mengontrol suhu dan kelembapan secara otomatis, serta membandingkan efektivitas kecepatan pengeringan dengan metode konvensional. Sistem dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pengendali utama, mengintegrasikan sensor suhu DS18B20 dan sensor kelembapan DHT22, aktuator pemanas *finned heater* 300 Watt yang diatur melalui dimmer PWM AC, serta kipas 12 Volt untuk sirkulasi udara. Berdasarkan hasil kalibrasi, sensor suhu DS18B20 pertama memiliki akurasi 99,31%, DS18B20 kedua memiliki akurasi 99,11%, dan sensor kelembapan DHT22 memiliki akurasi 99,40%. Metode *Ziegler-Nichols* tipe 1 digunakan untuk tuning awal parameter PID, yang kemudian disempurnakan secara manual dengan hasil optimal Kp=35, Ki=110, dan Kd=45. Pengujian dilakukan pada tembakau rajangan sebanyak 1 kg per rak dengan setpoint suhu 50°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu mencapai suhu *setpoint* dalam waktu 14 menit dengan *overshoot* 1% dan *steady-state error* 0,4%. Pengeringan tembakau rajangan dapat diselesaikan dalam waktu 3 jam dengan penurunan berat mencapai 84,28%, jauh lebih cepat dibandingkan metode konvensional yang membutuhkan waktu 4 hari. Sistem monitoring berbasis IoT melalui Firebase memungkinkan pemantauan suhu, kelembapan, dan durasi operasi secara *real-time*.

Kata kunci: *Finned heater* ,Oven pengering tembakau, PID, ESP32, sensor DS18B20, *Ziegler-Nichols*

Abstract

Direct sun drying of shredded tobacco has a major drawback: the inability to control temperature and humidity, which leads to decreased tobacco quality and long drying durations (3-7 days). This research aims to design and build a PID-based tobacco drying oven capable of automatically controlling temperature and humidity, as well as comparing the effectiveness of drying speed with conventional methods. The system was designed using an ESP32 microcontroller as the main controller, integrating DS18B20 temperature sensors and DHT22 humidity sensors, a 300 Watt finned heater as the heating actuator regulated through an AC PWM dimmer, and a 12 Volt fan for air circulation. Calibration results showed that the DS18B20 1 achieved 99.31% accuracy, DS18B20 2 achieved 99.11% accuracy, and the DHT22 humidity sensor achieved 99.40% accuracy, confirming that all sensors operate with high precision. The Ziegler-Nichols type 1 method was used for initial PID parameter tuning, followed by manual refinement, yielding optimal values of Kp=35, Ki=110, and Kd=45. Testing was conducted on shredded tobacco weighing 1 kg per rack with a temperature setpoint of 50°C. The results showed that the system could reach the setpoint temperature within 14 minutes with an overshoot of 1% and a steady-state error of 0.4%. Tobacco drying could be completed within 3 hours with a weight reduction of 84.28%, significantly faster than the conventional method which takes 4 days. The IoT-based monitoring system via Firebase enables real-time monitoring of temperature, humidity, and operating duration.

Keywords: *Finned heater, Tobacco drying oven, PID, ESP32, DS18B20 sensor, Ziegler-Nichols*

This work is an open access article and licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)

1. PENDAHULUAN

Tanaman tembakau (*Nicotiana Tabaccum L*) merupakan komoditas pertanian yang mempunyai peranan penting di bidang non pangan. Selama ini produksi tembakau dimanfaatkan daunnya untuk industri rokok[1]. Sentral penghasil tembakau terbanyak di Indonesia terdapat di dua pulau yaitu Jawa dan Nusa Tenggara. Tiga provinsi yang memproduksi tembakau di atas 10.000 ton adalah Jawa Timur (117,93 ribu ton), Jawa Tengah (53,50 ribu ton) dan Nusa Tenggara Barat (58,56 ribu ton), sementara rata-rata produksi di provinsi lainnya sebesar 16,48 ribu ton[24]. Provinsi Jawa Timur adalah sentra penghasil tembakau terbesar dalam skala nasional. Jawa Timur pada tahun 2022 berhasil memproduksi tembakau mencapai 100,6 ribu ton, kemudian disusul Jawa Tengah dengan hasil produksi sebesar 53,7 ribu ton (BPS, 2023).

Setelah masa panen, daun tembakau segar harus segera melalui serangkaian proses pengolahan pascapanen yang terdiri dari tiga tahapan utama, yaitu pemeraman, perajangan, dan pengeringan. Tahap pemeraman berlangsung sekitar dua hari di tempat teduh untuk memicu proses penguningan daun[4]. Selanjutnya, daun yang telah layu dirajang menjadi potongan-potongan kecil berukuran 1–2 mm menggunakan alat perajang atau pisau. Tahapan terakhir adalah pengeringan, yang bertujuan untuk menurunkan kandungan air hingga mencapai tingkat kekeringan tertentu dengan warna coklat kekuningan sebagai indikator mutu[1].

Permasalahan utama yang dihadapi mitra adalah ketidakmampuan mengontrol suhu dan kelembapan. Pada penjemuran konvensional sangat bergantung pada intensitas matahari dan memakan waktu 3-4 hari pada musim kemarau dan 5-7 hari pada musim penghujan. Suhu optimal untuk pengeringan tembakau rajangan seharusnya berada pada rentang 45°C-55°C. Suhu rendah memperlambat proses, sementara suhu tinggi dapat menyebabkan daun gosong, berwarna hitam, dan rapuh. Demikian pula, kelembapan udara terbuka tidak dapat dikendalikan. Pada musim penghujan, kelembapan mencapai 80%-90% RH sehingga pengeringan berlangsung lambat dan memicu pertumbuhan jamur[3].

Berdasarkan permasalahan tersebut, oven pengering dipilih sebagai alternatif karena memiliki sejumlah keunggulan dibandingkan penjemuran konvensional. Pertama, oven memungkinkan pengaturan suhu akurat melalui sistem kendali otomatis menggunakan PID. Kedua, sistem sirkulasi udara dengan cerobong pembuangan memungkinkan pengontrolan kelembapan. Ketiga, proses pengeringan berlangsung lebih cepat dalam hitungan jam karena sumber panas aktif dan tidak bergantung pada matahari. Keempat, oven melindungi tembakau dari kontaminasi debu, kotoran, serangga, dan air hujan.

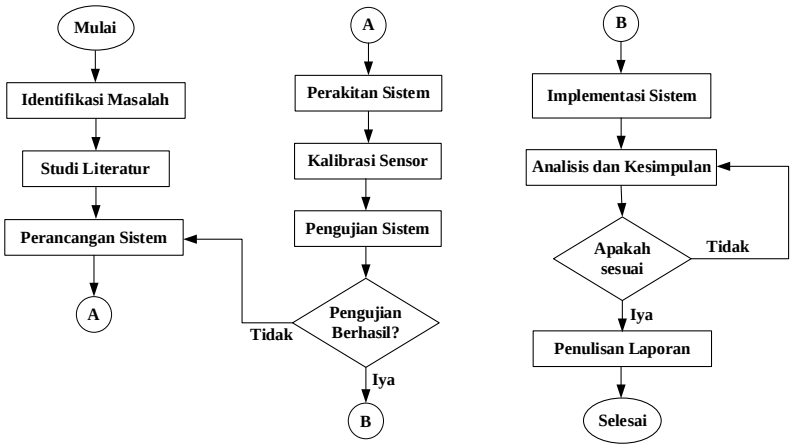
Penelitian ini bertujuan merancang sistem kontrol suhu dan kelembapan untuk mendukung proses pengeringan tembakau rajangan, mengimplementasikan sistem PID untuk mengontrol suhu dan kelembapan agar dapat terjaga stabil, serta membandingkan seberapa cepat oven pengering dalam mengurangi berat tembakau rajangan dibandingkan dengan penjemuran konvensional.

2. METODE PENELITIAN

Jenis penelitian yang diterapkan dalam studi penelitian ini menggunakan *Research and Development*, atau riset dan pengembangan. Penelitian ini berfokus utama pada pengembangan, di mana tujuan dari penelitian adalah memperluas dan memperdalam pengetahuan yang ada serta mengintegrasikan inovasi baru dalam dunia pertanian.

2.1. Tahapan Penelitian

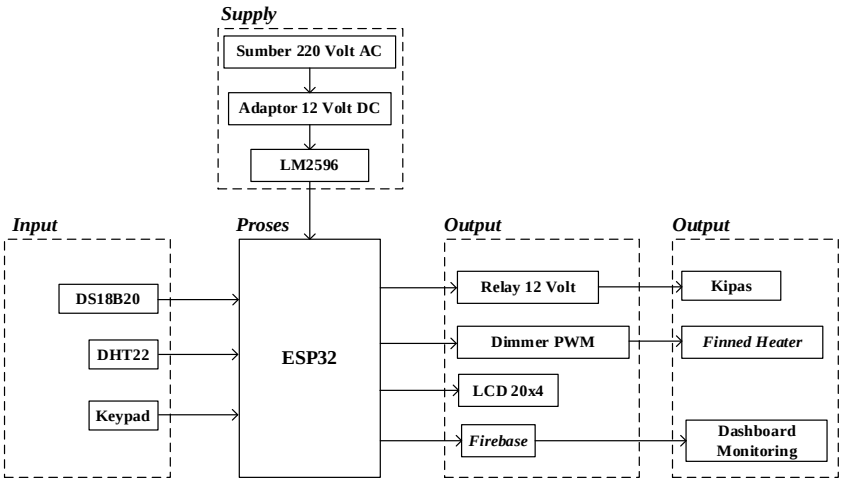
Alur penelitian dimulai dari observasi lapangan, studi literatur, perancangan sistem, perakitan sistem, kalibrasi sensor, pengujian sistem, implementasi sistem, analisis dan kesimpulan, hingga penulisan laporan.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

2.2. Diagram Blok Sistem

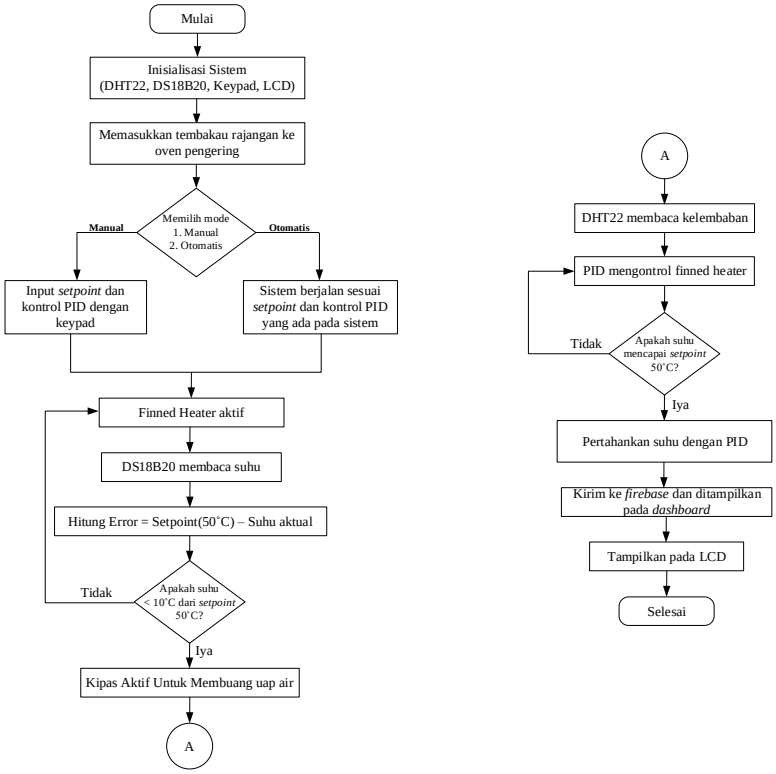
Diagram blok sistem terdiri dari bagian *input* (sensor DS18B20, DHT22, keypad), proses (ESP32), dan *output* (relay 12 Volt, dimmer PWM, LCD 20x4, Firebase). Sensor suhu DS18B20 berfungsi untuk mengukur tingkat suhu pada oven yang dihasilkan oleh *finned heater*. Sensor kelembapan DHT22 digunakan sebagai monitoring tingkat kelembapan udara yang dikontrol menggunakan kipas. Keypad digunakan untuk mengatur nilai *setpoint* dan kontrol PID jika memilih mode manual. *Finned heater* digunakan sebagai elemen pemanas pada oven dengan daya 300 Watt. ESP32 Devkit V1 digunakan sebagai mikrokontroller untuk mengolah data dan mengontrol aktuator dalam sistem. Relay 12 Volt DC digunakan sebagai saklar untuk mengaktifkan dan mematikan kipas. LM2596 digunakan sebagai *stepdown* tegangan yang berasal dari *power supply* 12 Volt DC untuk mensuplai ESP32. Kipas untuk menyebarkan udara panas dan mengontrol kelembapan dengan membuang kandungan air pada daun tembakau yang menguap kemudian dibuang melalui cerobong udara. Data yang telah diolah oleh ESP32 akan ditampilkan pada LCD untuk menampilkan nilai suhu dan kelembapan pada oven. Firebase digunakan sebagai penyimpanan data yang akan digunakan ditampilkan pada tampilan *dashboard monitoring*.



Gambar 2. Blok Diagram Sistem

2.3. Flowchart Sistem

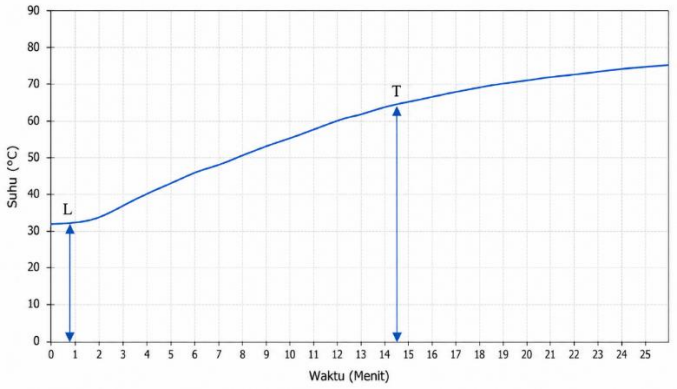
Sistem dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pengendali utama, mengintegrasikan sensor suhu DS18B20 dan sensor kelembapan DHT22, aktuator pemanas *finned heater* 300 Watt yang diatur melalui dimmer PWM AC, serta kipas 12 Volt untuk sirkulasi udara.



Gambar 3. Flowchart Sistem

2.4. Perancangan Kontrol PID

Penyetelan parameter PID pada penelitian ini menggunakan metode *Ziegler-Nichols* metode 1, merupakan salah satu teknik tuning parameter PID yang didasarkan pada respons sistem terhadap perubahan mendadak atau *step response*.



Gambar 4. Tuning PID

Diketahui nilai :
L (*Delay Time*) = 50 detik
T (*Time Constant*) = 868 detik.

Tabel 1. Perhitungan Parameter PID

Parameter Kontrol	Perhitungan
	$P = \frac{\mathrm{T}}{\mathrm{L}} = \frac{868}{50} = 17{,}36$ (1)
Menghitung Nilai Kp	$PI = 0{,}9 \times \frac{T}{L} = 0{,}9 \times \frac{868}{50} = 15{,}624$ (2)

$$PID = 1{,}2 \times \frac{T}{L} = 1{,}2 \times \frac{868}{50} = 20{,}832 \quad (3)$$

$$PI = \frac{\mathrm{L}}{0{,}3} = \frac{50}{0{,}3} = 166 \quad (4)$$

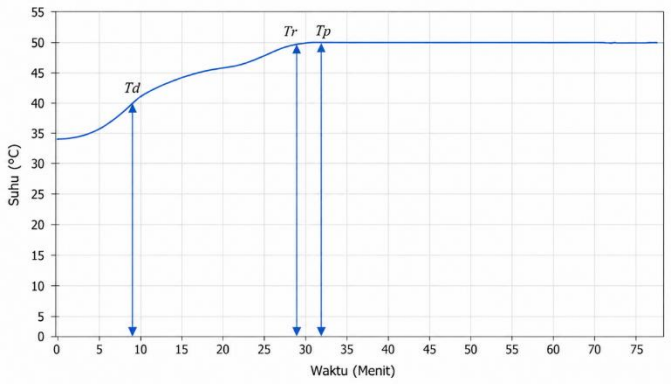
Menghitung Nilai Ki

$$PID = 2 \times L = 2 \times 50 = 100 \quad (5)$$

Menghitung Nilai Kd

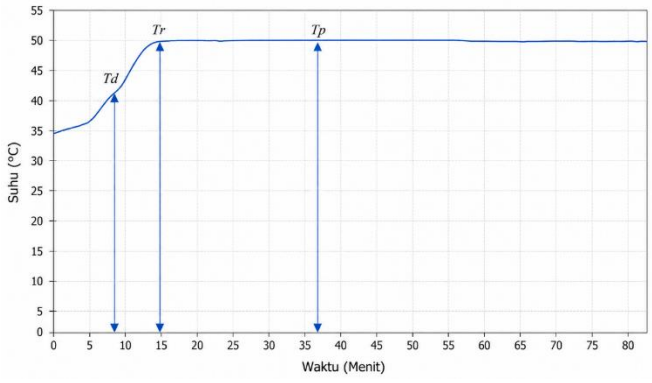
$$PID = 0{,}5 \times L = 0{,}5 \times 50 = 25 \quad (6)$$

Dari perhitungan *Ziegler-Nichols* tipe 1 didapatkan nilai Kp = 20,832, Ki = 100, dan Kd = 25. Hasil pengujian nilai PID yang didapat dari tuning *Ziegler-Nichols* tipe 1 mendapatkan nilai *rise time* sekitar 30 menit dan nilai *error steady state* 0,2%. Berdasarkan hasil pengujian yang didapat dimana waktu untuk mencapai *setpoint* masih cukup lama, sehingga perlu dilakukan penyesuaian kembali terhadap nilai PID yang didapat.



Gambar 5. Pengujian PID

Pada nilai PID akan menambahkan nilai Kp menjadi 35 untuk mempercepat respon agar suhu dapat mencapai *setpoint* lebih cepat, menambah nilai Ki menjadi 110 untuk mencegah terjadinya *overshoot* yang ekstrem, dan menambah nilai Kd menjadi 45 untuk meminimalisir terjadinya osilasi.



Gambar 6. Manual Tuning PID

Berdasarkan data hasil pengujian, diperoleh bahwa penyesuaian parameter PID dengan nilai Kp = 35, Ki = 110, dan Kd = 45 mampu menghasilkan respons sistem yang paling optimal. Parameter tersebut menghasilkan *rise time* selama 14 menit dan *error steady-state* sebesar 0,2%. Penurunan waktu tanggap ini membuktikan bahwa penyesuaian manual *fine-tuning* berhasil memperbaiki kinerja respons transien

sistem tanpa mengorbankan stabilitas kondisi *steady-state*. Hasil ini menunjukkan penyesuaian nilai PID yang dilakukan memberikan kinerja paling optimal, sehingga parameter tuning tersebut dipilih dan diterapkan pada sistem.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengujian Sensor Suhu DS18B20

Pengujian sensor suhu DS18B20 dilakukan untuk mengetahui tingkat presisi sensor DS18B20 terhadap kondisi suhu udara yang sebenarnya. Pengujian sensor dilakukan dengan cara mengaktifkan sistem kemudian memantau pembacaan suhu sensor DS18B20 dan membandingkannya dengan *thermometer* digital. Selisih nilai yang diperoleh kemudian dianalisis untuk dirumuskan, yang nantinya dapat dilihat berapa nilai *error* yang dihasilkan dan seberapa presisi pembacaan sensor DS18B20.

Tabel 2. Pengujian DS18B20 (1)

Waktu	DS18B20 (1)	Thermometer Digital	Error
16.00 WIB	31,2	31,4	0,637
16.30 WIB	31,5	31,6	0,316
17.00 WIB	30,8	30,3	1,650
17.30 WIB	30,8	30,1	2,326
18.00 WIB	30	30	0,000
18.30 WIB	30,5	30,2	0,993
20.30 WIB	30,9	30,8	0,325
21.00 WIB	30,3	30,3	0,000
21.30 WIB	29,8	30	0,667
22.00 WIB	29,8	29,8	0,000

Pada pengujian DS18B20 1 pada rentang waktu 16.00–22.00 WIB, diperoleh rata-rata *error* sebesar 0,6914%. Nilai *error* tertinggi terjadi pada pukul 17.30 WIB yaitu 2,326%, sementara beberapa titik pengujian menunjukkan *error* 0% yang artinya tidak ada perbedaan pembacaan antara DS18B20 dengan *Thermometer* Digital. Tingkat akurasi sensor suhu DS18B20 1 terhadap *Thermometer* Digital adalah 99,3086%. Angka ini menunjukkan bahwa DS18B20 1 memiliki tingkat kesalahan yang sangat kecil, sehingga dapat dinyatakan cukup akurat.

Tabel 3. Pengujian DS18B20 (2)

Waktu	DS18B20 (2)	Thermometer Digital	Error
16.00 WIB	31,2	31,4	0,637
16.30 WIB	31,8	31,6	0,633
17.00 WIB	30,6	30,3	0,990
17.30 WIB	30,5	30,1	1,329
18.00 WIB	29,8	30	0,667
18.30 WIB	29,6	30,2	1,987
20.30 WIB	30,6	30,8	0,649
21.00 WIB	30,2	30,3	0,330
21.30 WIB	30	30	0,000
22.00 WIB	29,3	29,8	1,678

Pada pengujian DS18B20 2 pada rentang waktu 16.00–22.00 WIB, diperoleh rata-rata *error* sebesar 0,890%. Nilai *error* tertinggi terjadi pada pukul 18.30 WIB yaitu 1,987%, sementara pada pukul 21.30 WIB menunjukkan *error* 0% yang artinya tidak ada perbedaan pembacaan antara DS18B20 2 dengan *Thermometer* Digital. Tingkat akurasi pembacaan DS18B20 2 adalah 99,110%.

Angka ini menunjukkan bahwa DS18B20 memiliki tingkat kesalahan yang sangat kecil, sehingga dapat dinyatakan cukup akurat.

Dari kedua sensor DS18B20 yang diuji mendapatkan hasil akurasi pembacaan yang cukup akurat dengan nilai akurasi DS18B20 1 99,3086% dan DS18B20 2 99,110%.

3.2. Pengujian Sensor Kelembapan DHT22

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi sensor DHT22, dengan tujuan mengidentifikasi perbedaan nilai yang muncul dibandingkan dengan *Thermohigrometer* sebagai acuan. Selisih nilai yang diperoleh kemudian dianalisis untuk dilihat akurasi pembacaan yang didapat.

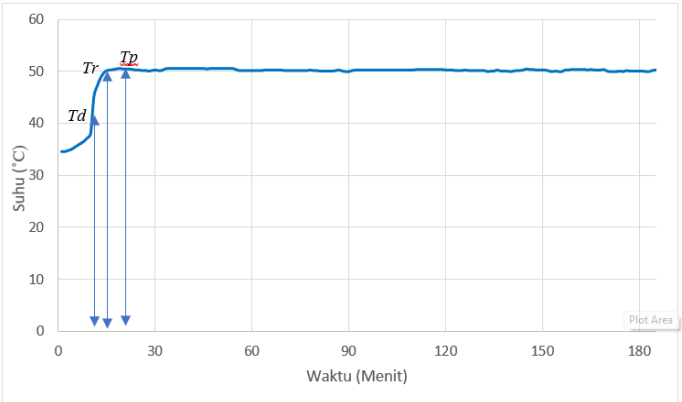
Tabel 4. Pengujian DHT22

Waktu	DS18B20 (2)	Thermohigrometer	Error
16.00 WIB	82%	83,1%	1,324
16.30 WIB	80%	79%	1,266
17.00 WIB	81,6%	81%	0,741
17.30 WIB	78,3%	79%	0,886
18.00 WIB	78,4%	78%	0,513
18.30 WIB	78,2%	78%	0,256
20.30 WIB	78,4%	78,2%	0,256
21.00 WIB	78,4%	78,3%	0,128
21.30 WIB	78,3%	78%	0,385
22.00 WIB	78,2%	78%	0,256

Dari hasil pengujian yang dilakukan pada rentang waktu 16.00–22.00 WIB, diperoleh nilai *error* rata-rata sebesar 0,601%. Nilai *error* tertinggi terjadi pada pukul 16.00 WIB yaitu 1,324%, sementara nilai *error* terendah terjadi pada pukul 21.00 WIB yaitu 0,128%. Tingkat akurasi sensor kelembapan DHT22 terhadap *Thermohigrometer* adalah 99,40%. Angka ini menunjukkan bahwa sensor DHT22 memiliki tingkat kesalahan yang sangat kecil, sehingga dapat dinyatakan cukup akurat untuk digunakan dalam sistem monitoring kelembapan oven pengering tembakau.

3.3. Analisis Kinerja Oven

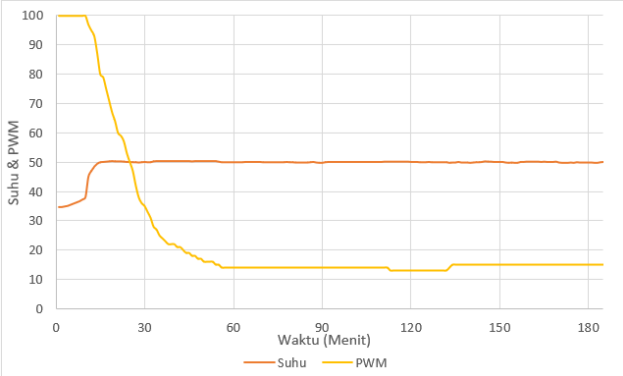
Analisis sistem bertujuan untuk meninjau secara menyeluruh kinerja sistem oven pengering tembakau rajangan dengan menggunakan metode PID, berdasarkan hasil pengujian yang sudah dilakukan, yang mencakup beberapa aspek seperti fungsionalitas, akurasi sensor, kendali suhu, monitoring kelembapan, dan efisiensi waktu.



Gambar 7. Grafik Suhu Pengujian

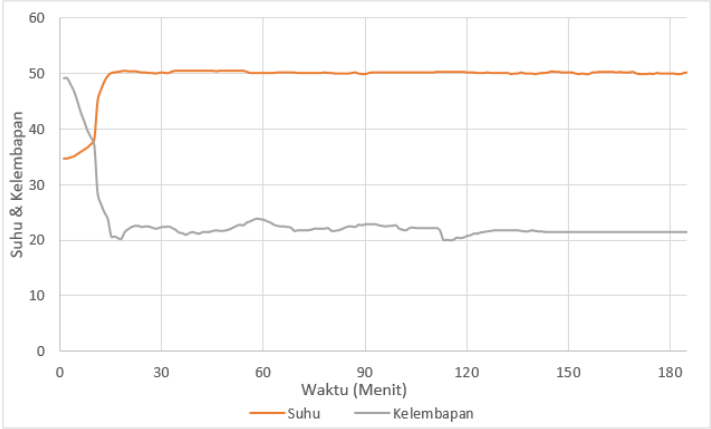
Berdasarkan data hasil pengujian, sistem menunjukkan performa sebagai berikut. *Rise time* yaitu waktu yang dibutuhkan suhu untuk naik mencapai nilai *setpoint*, tercatat sebesar 860 detik atau sekitar 14 menit. Sistem mengalami *overshoot* maksimum sebesar 0,5°C atau setara 1% dari *setpoint*.

Nilai *overshoot* yang relatif kecil ini mengindikasikan bahwa parameter kendali yang digunakan sudah cukup baik dalam meredam lonjakan respons sebelum mencapai kondisi tunak. *Settling time* yang didefinisikan sebagai waktu yang dibutuhkan sistem untuk masuk dan bertahan dalam pita toleransi ±2% dari *setpoint* sebesar 758 detik. Pada kondisi *steady state*, sistem menghasilkan *steady-state error* yang diperoleh hanya sebesar 0,4% dari *setpoint*. Nilai *error* yang sangat kecil ini menunjukkan bahwa sistem kendali mampu mempertahankan suhu ruang pengujian mendekati nilai *setpoint* yang diinginkan dengan tingkat akurasi yang tinggi.



Gambar 8. Grafik Suhu dan Dimmer

Selama sistem bekerja output dimmer dipertahankan pada nilai maksimum 100% sejak awal pengujian hingga detik ke-542, guna mempercepat kenaikan suhu menuju *setpoint*. Setelah suhu mendekati nilai *setpoint*, output dimmer diturunkan secara bertahap mengikuti berkurangnya selisih antara suhu aktual dan *setpoint*, hingga akhirnya menetap pada kisaran 13–15% pada kondisi tunak.



Gambar 9. Grafik Suhu dan Kelembapan

Kenaikan suhu ruang turut memengaruhi tingkat kelembapan relatif di dalam oven. Pada awal pengujian, kelembapan tercatat sebesar 49,8%, kemudian mengalami penurunan seiring dengan naiknya suhu menuju *setpoint*, hingga mencapai titik terendah sebesar 19,9% pada detik ke-6876. Setelah suhu mencapai kondisi tunak, kelembapan relatif juga menunjukkan kecenderungan stabil pada kisaran rata-rata 21,5%, meskipun masih terdapat fluktuasi kecil akibat dinamika perpindahan panas dan uap air di dalam ruang pengujian.

3.4. Hasil Pengeringan

Dalam proses pengeringan, menggunakan asumsi penyusutan berat tembakau rajangan. Selama pengeringan, data penurunan berat tiap jam nya dicatat dan dihitung dengan rumus:

$$\text{Penyusutan Berat} = \frac{\text{Berat Awal} - \text{Berat Akhir}}{\text{Berat Awal}} x100\% \qquad (7)$$

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan terhadap proses pengeringan tembakau rajangan menggunakan oven pengering berbasis PID, diperoleh data penurunan berat pada tiga rak pengeringan yang masing-masing diisi dengan 1 kg tembakau rajangan basah. Pengamatan dilakukan berturut-turut untuk mengetahui efektivitas sistem dalam mengeringkan tembakau rajangan.

Tabel 5. Waktu Pengeringan Tembakau

Hari	Wkt.mulai – Wkt.selesai	Berat awal(gr)	Berat akhir (gr)	Penyusutan Berat (gr)	Persentase
Hari Ke-1	07.00 – 10.00	3000 gr	442 gr	2557 gr	85,27%
	10.30 – 13.30	3000 gr	458 gr	2542 gr	84,73%
	14.00 – 17.00	3000 gr	425 gr	2575 gr	85,83%
	18.00 – 21.00	3000 gr	463 gr	2537 gr	84,57%
Hari Ke-2	07.00 – 10.00	3000 gr	471 gr	2529 gr	86,3%
	10.30 – 13.30	3000 gr	411 gr	2589 gr	84,3%
	14.00 – 17.00	3000 gr	398 gr	2611 gr	86,73%
	18.00 – 21.00	3000 gr	447 gr	2553 gr	85,1%
Hari Ke-3	07.00–10.00	3000 gr	419 gr	2581 gr	87,03%
	10.30–13.30	3000 gr	389 gr	2611 gr	86,03%

Jika ditinjau dari pengaruh waktu pengeringan terhadap hasil yang diperoleh, pada jam 14.00-17.00 menjadi waktu yang paling efektif dengan rata-rata berat akhir 409,67 gram dan persentase rata-rata penyusutan tertinggi yaitu 86,34%. Sebaliknya, pada jam 07.00-10.00 menghasilkan performa terendah dengan rata-rata berat akhir 455 gram dan persentase rata-rata penyusutan 84,83%. Perbedaan ini disebabkan oleh faktor suhu lingkungan yang mempengaruhi proses pemanasan awal oven, di mana pada jam 07.00-10.00 suhu lingkungan masih rendah sehingga memperlambat proses pemanasan awal dan mengurangi efisiensi pengeringan. Sedangkan pada jam 14.00-17.00 menunjukkan performa yang paling optimal karena suhu lingkungan yang mulai naik sehingga mempercepat pemanasan awal pada oven untuk mencapai *setpoint*.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian sistem secara keseluruhan yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut. Sistem yang dirancang dan dibuat dengan sistem terintegrasi telah mampu menggabungkan kontrol kelembapan dan suhu berbasis PID menggunakan aktuator *finned heater*. Implementasi metode PID pada sistem terbukti efektif dalam menjaga kestabilan suhu ruang oven. Berdasarkan pengujian, diperoleh parameter PID optimal dengan nilai Kp=35, Ki=110, Kd=45 yang menghasilkan kinerja sangat baik. Sistem mampu mencapai suhu *setpoint* 50°C dengan *rise time* sekitar 14 menit, *overshoot* maksimum sebesar 1% dan *steady-state error* dengan nilai 0,4%. Ini menunjukkan bahwa sistem PID mampu menjaga suhu tetap stabil di sekitar nilai *setpoint*.

Oven pengering dibuat terbukti secara signifikan lebih efektif dalam menurunkan berat tembakau rajangan dibandingkan metode konvensional. Proses pengeringan tembakau rajangan 3 kg dapat diselesaikan hanya dalam waktu 3 jam, persentase penurunan berat tembakau mencapai 84,27%. Sebagai perbandingan, metode konvensional dimana memerlukan waktu 4 hari. Dengan demikian, sistem ini mampu menghemat waktu pengeringan secara drastis dan mengurangi ketergantungan pada faktor cuaca. Pengeringan konvensional tiap harinya melakukan penjemuran dengan kapasitas sekitar 30 kg, jika dibandingkan dengan pengeringan dengan oven pengering maka harus melakukan pengeringan dengan total 10 siklus pengeringan. Analisis ini menunjukkan bahwa oven pengering berbasis PID ini sebagai solusi yang efisien untuk meningkatkan produktivitas mitra.

5. DAFTAR PUSTAKA

[1] H. K. Wardana, "Rancang Bangun Sistem Pengukuran Temperature Pada Proses Pengeringan Daun Tembakau Madura," Tesis, Bidang Keahlian Instrumentasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2015.

[2] D. E. W. Astuti, et al., "Faktor Yang Mempengaruhi Produksi Tembakau (Nicotiana tabacum) Di Kecamatan Sulang Kabupaten Rembang," SEA, vol. 10, no. 1, 2021.

[3] U. A. Almujaddidy, Supriono, and A. Natsir, "Rancang Bangun Protype Pengering Tembakau Berbasis Iot Untuk Meningkatkan Kualitas Tembakau Dan Menghemat Waktu Pengeringan," Journal of Social Science Research, vol. 4, no. 4, 2024.

[4] D. Laxsmy, "Implementasi Teknologi Fuzzy Logic Controller untuk Pengendalian Temperatur pada Proses Pengeringan Tembakau," 2018.

[5] I. Yuliawan, et al., "Potensi Tembakau Lembutan Temanggung Sebagai Indikasi Geografis Menurut Undang-Undang No 20 Tahun 2016 Tentang Merek Dan Indikasi Geografis," Jurnal Hukum dan Sosial Politik, vol. 1, no. 2, 2023.

[6] S. D. Nuzulul, "Perancangan Sistem Kontrol Suhu dan Kelembapan Ruangan pada Budidaya Jamur Tiram Berbasis Internet of Things," 2019.

[7] Dina, Mahartika., "Analisa Konsep Kalor Pada Proses Pengeringan Terhadap Kualitas Tembakau", 2024.

[8] Yaqub, Muhammad., "Rancang Bangun Alat Pengovenan Tembakau Otomatis Berbasis Metode Flue Curing", 2019.

[9] M. I. Awaludin, "Perancangan Sistem Kontrol Suhu Oven Listrik Menggunakan Metode PID," TELEKONTRAN, vol. 11, no. 2, 2023.

[10] E. Noorly, "Penggunaan Arduino Uno Untuk Mengatur Temperatur Pada Oven," Jurnal Teknik Elektro, vol. 4, no. 2, 2022.

[11] W. H. Bhimantoro, "Rancang Bangun Sistem Kontrol dan Monitoring Suhu dan Kelembapan Inkubator Fermentasi Tempe Menggunakan Propotional Integral Derivative (PID)," Tugas Akhir, Teknik Komputer, Universitas Dinamika, 2025.

[12] H. Liu, S. Duan, and H. Luo, "Design and Temperature Modeling Simulation of the Full Closed Hot Air Circulation Tobacco Bulk Curing Barn," Symmetry, vol. 14, p. 1300, 2022. doi: 10.3390/sym14071300.

[13] F. Chairuman, "Design of Early Fire Detection System in Tobacco Oven Based on Internet of Things (Case Study: East Landah Praya Village)," J-COSINE (Journal of Computer Science and Informatics Engineering), vol. 7, no. 1, Jun. 2023.

[14] R. P. Ramadhan, "Rancang Bangun Sistem Otomatis Pengeringan Daun Tembakau Menggunakan Motor Dan Sensor Berbasis Raspberry Pi dengan Metode Fuzzy Logic," Jurnal Teknik ITS, vol. 7, no. 2, 2018.

[15] Atno, Rimba, (2023). "Rancang Bangun Alat Pengering Rumput Laut Dengan Kontrol Suhu Otomatis". Politeknik Negeri Ujung Padang, Makassar.