

Pengembangan Prototipe Pengereng Pupuk Berbasis PLC-Scada Dengan Pengendalian Suhu PID

Rindu Marito^{1*)}, Agus Khumaidi², Zindhu Maulana Ahmad Putra³, Novia Anggraini⁴, Dimas Pristovani Riananda⁵, Imam Sutrisno⁶

^{1,2,4,6}Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal, Program Studi Teknik Otomasi. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jalan Teknik Kimia, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya

^{3,5}Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal, Program Studi Teknik Kelistrikan Kapal. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jalan Teknik Kimia, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya

*Penulis Korespondensi, e-mail: rindumarito@student.ppns.ac.id

Received:06/07/2026

Revised:14/08/2026

Accepted:14/08/2026

ABSTRAK

Pengeringan pupuk pada skala kecil masih dapat mengalami variasi suhu dan waktu proses yang tinggi ketika sumber panas diatur secara manual. Penelitian ini mengembangkan prototipe pengereng pupuk tipe *tray dryer* dengan pengendalian suhu umpan balik dan pemantauan antarmuka secara *real-time*. Sistem menggunakan *programmable logic controller* Mitsubishi FX3U-24MR, sensor suhu dan kelembapan SHT20, load cell, pemanas 100 W, kipas, motor pengaduk, serta antarmuka Weintek. Identifikasi proses *open-loop* dimodelkan sebagai sistem orde satu dengan waktu tunda dan menghasilkan penguatan 1,2102, konstanta waktu 1231 s, waktu tunda 118,3 s, serta tingkat kecocokan 96,54%. Penalaan Cohen-Coon menghasilkan parameter proporsional, integral, dan derivatif masing-masing 11,6711, 0,041698, dan 493,4464. Pada setpoint 55 °C, suhu mencapai target sekitar 15 menit dengan overshoot 1%, tetapi kadar air akhir masih sekitar 20% setelah 60 menit. Pada setpoint 60 °C, target dicapai sekitar 12 menit dengan *overshoot* kurang dari 1%, sedangkan kadar air turun hingga kurang dari 10% dalam 50 menit. Saat pintu ruang pengereng dibuka selama 5 menit, sistem kembali ke 60 °C dalam sekitar 7 menit. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pengendalian suhu mampu memperbaiki respons termal dan mendukung pengeringan, tetapi evaluasi efisiensi energi dan replikasi eksperimen masih diperlukan.

Kata Kunci: Cohen-Coon, kendali suhu, pengeringan, pupuk, sistem supervisi, PLC, Kontrol PID

ABSTRACT

Small-scale fertilizer drying can exhibit temperature variation and long processing time when heat input is adjusted manually. This study develops a tray-type fertilizer dryer with feedback temperature control and real-time supervisory monitoring. The system employs a Mitsubishi FX3U-24MR programmable logic controller, an SHT20 temperature and humidity sensor, a load cell, a 100 W heater, fans, a stirring motor, and a Weintek operator interface. An open-loop experiment was represented by a first-order process with dead time and produced a process gain of 1.2102, a time constant of 1231 s, a dead time of 118.3 s, and a model fit of 96.54%. Cohen-Coon tuning produced proportional, integral, and derivative parameters of 11.6711, 0.041698, and 493.4464, respectively. At a 55 °C setpoint, the temperature reached the target in about 15 min with 1% overshoot, while the final moisture content remained around 20% after 60 min. At 60 °C, the target was reached in about 12 min with less than 1% overshoot, and the moisture content decreased below 10% within 50 min. After a five-minute door-opening disturbance, the system returned to 60 °C in about 7 min. These results indicate that feedback temperature control improves thermal response and supports fertilizer drying, although energy-efficiency benchmarking and replicated experiments are still required.

Keywords: Cohen-Coon, drying, fertilizer, supervisory system, temperature control, PLC, PID Control

p-ISSN: 2356-0533; e-ISSN: 2355-9195



9 772356 053009

1. PENDAHULUAN

Pengeringan merupakan tahap penting dalam pengolahan pupuk karena kadar air memengaruhi mutu, kecenderungan penggumpalan, penyimpanan, dan distribusi produk. Pada pengeringan pupuk granul, perpindahan panas tidak hanya ditentukan oleh besarnya sumber panas, tetapi juga oleh distribusi udara dan kondisi beban bahan. Studi pada rotary dryer pupuk NPK menunjukkan bahwa evaluasi kadar air menjadi indikator penting untuk menilai kinerja pengeringan, sedangkan studi tray dryer menekankan hubungan antara kondisi operasi dan karakteristik pengeringan [1], [2].

Pada skala kecil, pengeringan masih dapat dilakukan dengan lampu pemanas dan pengaturan manual. Pendekatan tersebut membuat suhu proses bergantung pada operator dan kondisi lingkungan. Penelitian mengenai pengeringan pupuk portabel, pengering pupuk granul, dan distribusi udara pada *tray dryer* menunjukkan bahwa sumber panas, aliran udara, dan beban bahan berpengaruh terhadap waktu serta keseragaman pengeringan [3], [4], [5].

Pengendalian suhu berbasis umpan balik dapat mengurangi ketergantungan pada pengaturan manual. Penerapan kendali proporsional-integral dan proporsional-integral-derivatif pada sistem termal telah dilaporkan mampu mengikuti setpoint dan mengurangi penyimpangan suhu, sementara metode Cohen-Coon digunakan sebagai pendekatan penalaan berbasis model proses [6]-[8]. Pada sistem pengering, aspek distribusi udara juga penting karena ketidakseragaman temperatur dapat menimbulkan perbedaan laju penguapan pada bagian bahan yang berbeda [9], [10].

Meskipun demikian, penggunaan kendali proporsional-integral-derivatif, pengendali logika terprogram, dan antarmuka supervisi secara bersamaan belum otomatis menjadi kebaruan ilmiah. Kontribusi yang lebih tepat dari penelitian ini adalah menggabungkan identifikasi dinamika pemanas berbasis model orde satu dengan waktu tunda, penalaan Cohen-Coon, implementasi pada pengendali logika terprogram, pemantauan *real-time*, serta evaluasi terhadap kadar air hasil pengeringan pada prototipe *tray dryer* pupuk skala kecil. Pendekatan ini juga memungkinkan pengujian gangguan dan perbandingan langsung dengan pengaturan daya pemanas tetap [11], [12].

Tujuan penelitian adalah menentukan parameter pengendalian suhu berdasarkan hasil identifikasi plant, mengevaluasi respons sistem pada beberapa setpoint, menguji kemampuan pemulihan terhadap gangguan, dan menilai keterkaitan kestabilan suhu dengan hasil penurunan kadar air. Hasil penelitian diarahkan untuk memberikan bukti kuantitatif mengenai kelayakan prototipe, bukan sekadar menyatakan bahwa sistem bekerja dengan baik.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan sebagai eksperimen pengembangan prototipe dan pengujian sistem kendali. Objek uji berupa *tray dryer* skala kecil dengan kapasitas operasi sekitar 1,5 hingga kurang dari 2 kg pupuk granul per siklus. Kondisi awal bahan ditetapkan sekitar 30% kadar air. Setpoint utama yang diuji adalah 55 °C dan 60 °C, sedangkan pengujian siang dan malam digunakan untuk mengamati pengaruh kondisi lingkungan. Berat di atas 2 kg tidak digunakan karena pada pengujian awal bahan meluber dari *tray* dan distribusi panas menjadi tidak seragam. Spesifikasi utama komponen prototipe dirangkum pada Tabel I.

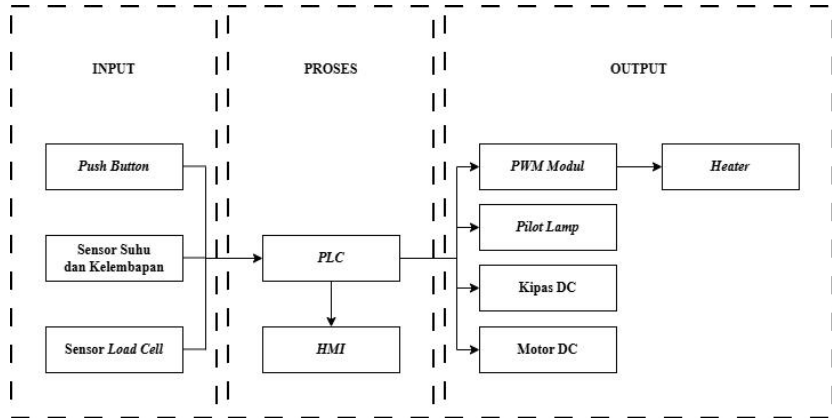
TABEL I : SPESIFIKASI UTAMA PROTOTIPE

Komponen	Spesifikasi	Fungsi
Ruang pengering	<i>Tray dryer</i> , 1,5–<2 kg/siklus	Tempat proses pengeringan
<i>Heater</i>	100 W, 24 VDC	Sumber panas
Sensor SHT20	Antarmuka RS485/Modbus	Pengukuran suhu dan kelembapan ruang
<i>Load cell</i>	<i>Input analog</i> ke PLC	Pemantauan massa bahan
PLC	Mitsubishi FX3U-24MR	Eksekusi logika dan kontrol PID

p-ISSN: 2356-0533; e-ISSN: 2355-9195



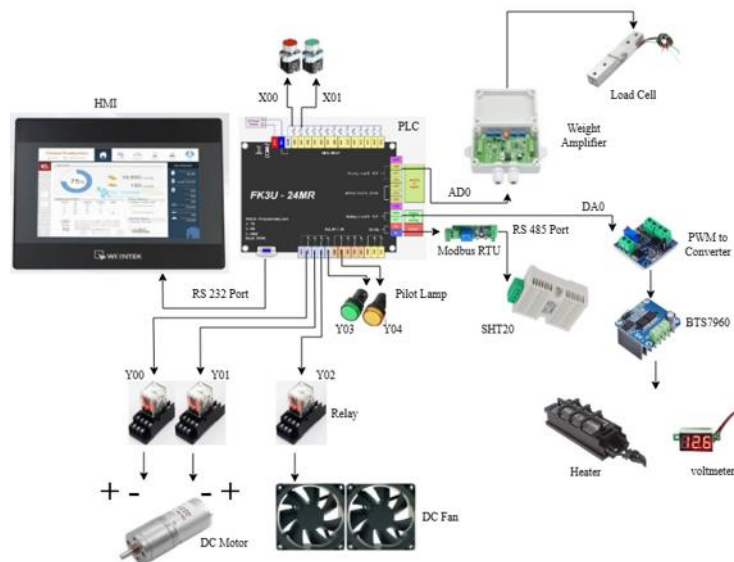
Komponen		Spesifikasi	Fungsi
HMI	Weintek		Monitoring <i>real-time</i> dan pengaturan <i>setpoint</i>



Gambar 1: Diagram Blok Sistem

2.1 Rancangan dan akuisisi data

Diagram blok sistem secara keseluruhan ditampilkan pada Gambar 1. Sensor SHT20 dipasang sebagai sensor utama temperatur ruang pengering dan dihubungkan ke PLC melalui komunikasi RS485/Modbus. Load cell digunakan untuk memantau massa bahan. PLC membaca sensor, menghitung keluaran pengendali, kemudian mengatur daya *heater* melalui rangkaian konversi tegangan-ke-PWM dan driver daya [14]. Kipas dan motor pengaduk membantu sirkulasi serta pemerataan paparan panas. HMI Weintek digunakan untuk menampilkan suhu proses, status sistem, dan setpoint secara *real-time* [11], [13]. Spesifikasi PLC mencakup 14 input digital, 10 output digital, kanal analog, serta komunikasi RS232/RS485. Skema pengawatan dan rangkaian daya yang menghubungkan PLC, sensor SHT20, load cell, heater, kipas, serta motor pengaduk ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2: Desain elektrik sistem



2.2 Identifikasi model proses

Sebelum penalaan, dilakukan pengujian *open-loop* dengan input pemanas konstan pada 50% dan keluaran berupa temperatur ruang pengering. Data waktu-temperatur disimpan dalam lembar kerja dan diolah menggunakan MATLAB *System Identification Toolbox*. Model yang digunakan adalah *first-order plus dead time* (FOPDT), sesuai karakteristik proses termal yang lambat dan memiliki keterlambatan respons. Tiga percobaan menghasilkan nilai kecocokan berturut-turut 96,47%, 96,54%, dan 96,39%; model kedua dipilih karena memiliki kecocokan tertinggi dan parameter yang konsisten dengan percobaan lain. Rekapitulasi ketiga percobaan identifikasi tersebut disajikan pada Tabel II.

$$G(s) = \frac{K}{\tau s + 1} e^{-\theta s} \quad (1)$$

Parameter terpilih adalah $K = 1,2102$, $\tau = 1231$ s, $\theta = 118,3$ s, dengan tingkat kecocokan 96,54% dan FPE 0,0970285. Nilai tersebut menunjukkan bahwa proses pemanasan memiliki dinamika lambat dan *dead time* yang relatif kecil dibandingkan konstanta waktunya.

TABEL II : HASIL IDENTIFIKASI MODEL FOPDT

Percobaan	Model	K	τ (s)	θ (s) / Fit
1	FOPDT	1,1322	1083,3	128,35 / 96,47%
2	FOPDT	1,2102	1231,0	118,30 / 96,54%
3	FOPDT	1,1643	1178,1	118,28 / 96,39%

2.3 Penalaan Cohen-Coon

Penalaan Cohen-Coon diterapkan pada model FOPDT. Dengan $r = \theta/\tau = 0,09610$, parameter awal dihitung menggunakan bentuk PID paralel. Persamaan yang digunakan dituliskan sebagai berikut.

$$Kp = \frac{\tau}{K\theta} \left(\frac{4}{3} + \frac{\theta}{4\tau} \right) \quad (2)$$

$$Ti = \theta \left(\frac{32 + 6\left(\frac{\theta}{\tau}\right)}{13 + 8\left(\frac{\theta}{\tau}\right)} \right) \quad (3)$$

$$Td = \theta \left(\frac{4}{11 + 2\left(\frac{\theta}{\tau}\right)} \right) \quad (4)$$

$$Ki = \frac{Kp}{Ti} \text{ dan } Kd = KpTd \quad (5)$$

Substitusi parameter *plant* menghasilkan $Kp = 11,6711$, $Ti = 279,8944$ s, $Ki = 0,041698$, $Td = 42,2794$ s, dan $Kd = 493,4464$. Filter derivatif yang dicatat pada desain adalah $N = 10$ atau $Tf = 4,2279$ s. Parameter tersebut diperlakukan sebagai hasil penalaan teoritis dan selanjutnya divalidasi melalui respons *closed-loop* karena karakteristik *plant*, batas aktuator, dan kondisi lingkungan dapat membuat respons aktual berbeda. Rekapitulasi parameter pengendali hasil penalaan disajikan pada Tabel III.

TABEL III : PARAMETER PENGENDALI HASIL PENALAAN

Parameter	Nilai	Keterangan
Kp	11,6711	Gain proporsional
Ki	0,041698	Gain integral bentuk paralel
Kd	493,4464	Gain derivatif bentuk paralel



Parameter	Nilai	Keterangan
Ti	279,8944 s	Waktu integral
Td	42,2794 s	Waktu derivatif
Tf	4,2279 s	Filter derivatif, N = 10

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Validasi model dan respons teoritis

Identifikasi memberikan kecocokan tinggi pada ketiga percobaan dan selisih fit antarmodel kurang dari 0,2 poin persentase. Pemilihan model kedua didasarkan pada fit 96,54% dengan $K = 1,2102$, $\tau = 1231$ s, dan $\theta = 118,3$ s. Karakteristik ini menegaskan bahwa plant merupakan proses termal yang lambat, sehingga penalaan yang terlalu agresif berpotensi memicu *overshoot*. Hal tersebut terlihat pada simulasi Cohen-Coon teoritis: untuk perubahan dari 30 °C menuju 55 °C, *rise time* 36,4 s diikuti puncak 80,10 °C dan *overshoot* 100,38%, dengan settling time 1461,2 s. Temuan ini penting karena menunjukkan bahwa hasil rumus Cohen-Coon merupakan titik awal penalaan, bukan bukti bahwa nilai teoritis tersebut langsung optimal untuk implementasi perangkat keras. Ringkasan indikator respons simulasi tersebut disajikan pada Tabel IV.

TABEL IV : RESPONS SIMULASI CLOSED-LOOP COHEN-COON

Indikator	Nilai	Interpretasi
<i>Rise time</i>	36,4 s	Respons awal sangat cepat
<i>Peak time</i>	238,0 s	Puncak pertama
Suhu puncak	80,10 °C	Jauh di atas 55 °C
<i>Overshoot</i>	100,38%	Respons teoritis agresif
<i>Settling time</i>	1461,2 s	Masuk pita $\pm 2\%$ sekitar 24,35 min
<i>Steady-state error</i>	≈ 0	Integral menghilangkan <i>error</i> tunak

3.2 Implementasi antarmuka dan pengendalian

Implementasi PLC-HMI memungkinkan operator memantau temperatur dan status sistem serta mengubah *setpoint* melalui antarmuka. Sensor SHT20 dikomunikasikan melalui RS485/Modbus, sedangkan keluaran kendali pemanas diarahkan melalui rangkaian konversi dan *driver* daya. Dokumentasi pengujian menunjukkan bahwa HMI dapat menampilkan proses kontrol secara *real-time*. Dalam konteks ilmiah, fungsi ini lebih tepat diposisikan sebagai lapisan supervisi dan antarmuka operator; kontribusi utama penelitian tetap berada pada identifikasi *plant*, penalaan, dan hasil uji proses, bukan pada kebaruan arsitektur SCADA itu sendiri. Tampilan antarmuka HMI selama pengujian ditunjukkan pada Gambar 3.

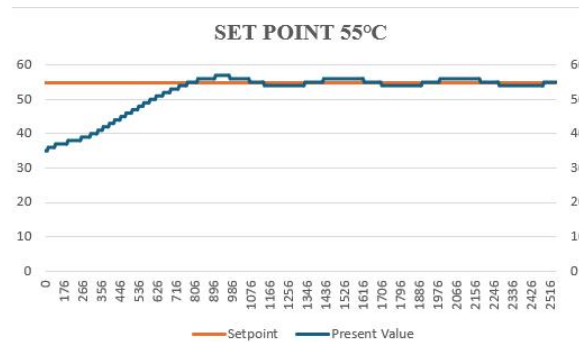


Gambar 3: Tampilan HMI untuk monitoring dan pengaturan parameter pada pengujian

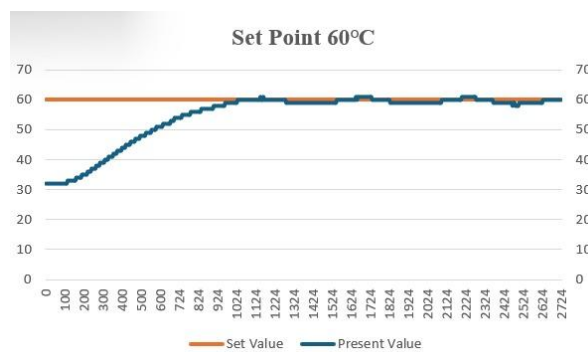


3.3 Kinerja temperatur dan pengeringan

Pada *setpoint* 55 °C pada siang hari, suhu mencapai target dalam sekitar 15 menit dengan *overshoot* 1%. Namun, setelah 60 menit kadar air masih mendekati 20%, sehingga *setpoint* ini belum menghasilkan kondisi pengeringan yang ditetapkan. Peningkatan *setpoint* menjadi 60 °C memberikan respons termal yang sedikit lebih cepat: suhu mencapai target dalam sekitar 12 menit dengan *overshoot* kurang dari 1%. Pada kondisi tersebut, kadar air turun di bawah 10% setelah 50 menit. Perbedaan ini menunjukkan bahwa kestabilan suhu saja belum cukup untuk menyimpulkan keberhasilan pengeringan; *endpoint* harus ditetapkan berdasarkan indikator kadar air. Grafik respons temperatur pada kedua *setpoint* tersebut berturut-turut ditampilkan pada Gambar 4 dan Gambar 5. Rekapitulasi seluruh skenario pengujian closed-loop dan hasil pengeringan disajikan pada Tabel V.



Gambar 4: Respons temperatur pada *setpoint* 55 °C



Gambar 5: Respons temperatur pada *setpoint* 60 °C

TABEL V : HASIL UJI *CLOSED-LOOP* DAN PENGERINGAN

Uji	Waktu	<i>Setpoint</i>	Capai target	<i>Overshoot</i>	Hasil pengeringan
U1	Siang	55 °C	≈ 15 min	1%	60 min; <i>moisture</i> ≈ 20%
U2	Siang	60 °C	≈ 12 min	<1%	50 min; <i>moisture</i> < 10%
U3	Malam	55 °C	> 15 min	1%	66 min
U4	Malam	60 °C	≈ 14 min	<1%	55 min
U5	Gangguan	60 °C	<i>Recovery</i> ≈ 7 min	1%	Pintu terbuka 5 min
U6	Tanpa PID	55 °C target	≈ 17 min	4%	Respons lebih berfluktuasi



3.4 Respons terhadap gangguan dan perbandingan tanpa PID

Ketika pintu ruang pengering dibuka selama 5 menit pada *setpoint* 60 °C, temperatur turun akibat masuknya udara lingkungan. Pengendali merespons dengan menaikkan keluaran PWM dan memulihkan suhu ke *setpoint* dalam sekitar 7 menit. Respons tersebut menunjukkan adanya kemampuan *disturbance rejection*, tetapi pengujian masih bersifat satu skenario sehingga belum cukup untuk menyatakan performa *robust* terhadap seluruh gangguan proses.

Pada uji tanpa PID dengan PWM tetap 150, sistem membutuhkan sekitar 17 menit untuk mencapai 55 °C dan menghasilkan *overshoot* 4%. Dengan PID, waktu pencapaian target sekitar 15 menit dan *overshoot* 1%. Secara relatif, *overshoot* pada pengujian ini berkurang 75% dibandingkan pengaturan PWM tetap. Perbandingan tersebut mendukung manfaat umpan balik terhadap kestabilan temperatur, tetapi tidak boleh diperlakukan sebagai perbandingan energi karena konsumsi daya kedua metode tidak diukur.

3.5 Pengaruh kondisi lingkungan dan interpretasi efisiensi

Pengujian malam hari memerlukan waktu pemanasan dan pengeringan yang lebih panjang: 66 menit pada 55 °C dan 55 menit pada 60 °C. Hasil tersebut konsisten dengan adanya *heat loss* yang lebih besar ketika temperatur lingkungan lebih rendah. Temuan ini juga memperjelas bahwa waktu pengeringan bukan hanya fungsi pengendali PID, melainkan hasil interaksi antara *setpoint*, kapasitas pemanas, aliran udara, beban bahan, dan kondisi lingkungan. Oleh karena itu, pernyataan "lebih efisien" dalam artikel ini dibatasi pada waktu proses pada kondisi pengujian, bukan efisiensi energi secara termodinamika.

Pengujian lampu pemanas yang digunakan sebagai pembanding membutuhkan sekitar 1–2 hari, sedangkan prototipe mencapai kadar air <10% pada 60 °C dalam 50 menit. Perbedaan tersebut menunjukkan potensi percepatan waktu proses, tetapi desain pembanding belum sepenuhnya dikendalikan pada massa bahan, kadar air awal, sumber panas, dan kondisi lingkungan yang identik. Karena itu, hasil ini diperlakukan sebagai pembanding indikatif, bukan bukti kausal bahwa seluruh pengurangan waktu hanya disebabkan oleh PID [1], [3], [4].

3.6 Diskusi dan implikasi

Secara umum, hasil penelitian sejalan dengan studi yang melaporkan bahwa pengendalian suhu umpan balik dapat memperbaiki kemampuan sistem termal dalam mengikuti *setpoint* [6], [7]. Hasil identifikasi juga sesuai dengan karakteristik proses termal yang lambat dan membutuhkan perhatian pada dead time [8], [12]. Dari sisi pengeringan, literatur menunjukkan bahwa distribusi udara dan pengaturan ruang pengering memengaruhi keseragaman temperatur dan laju pengeringan [9], [10]. Temuan pada penelitian ini memperkuat hubungan tersebut karena perubahan kondisi lingkungan menghasilkan perbedaan waktu pencapaian *setpoint* dan waktu pengeringan, meskipun parameter PID tetap. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan lebih tepat dipandang sebagai prototipe otomasi yang mengintegrasikan pengendalian suhu dan supervisi proses, dengan kontribusi kuantitatif utama pada karakterisasi plant dan evaluasi respons temperatur serta kadar air.

Keterbatasan utama penelitian adalah belum adanya replikasi terkontrol untuk seluruh skenario, belum dilaporkannya akurasi sensor dan interval sampling secara eksplisit, serta belum adanya pengukuran konsumsi energi. Selain itu, skala atau konversi nilai internal blok PID PLC terhadap parameter Cohen-Coon belum didokumentasikan secara numerik dalam naskah sumber. Oleh karena itu, angka K_p , K_i , dan K_d yang dilaporkan di artikel diperlakukan sebagai parameter hasil penalaan teoritis, sedangkan validasi praktis ditunjukkan melalui respons *plant*. Batasan ini perlu diperbaiki pada eksperimen lanjutan agar klaim kinerja dapat diuji secara statistik dan dapat direplikasi.

4. KESIMPULAN

Prototipe *tray dryer* pupuk dengan pengendalian suhu berbasis pengendali logika terprogram berhasil diidentifikasi menggunakan model FOPDT dengan $K = 1,2102$, $\tau = 1231$ s, $\theta = 118,3$ s, dan fit 96,54%. Penalaan Cohen-Coon menghasilkan $K_p = 11,6711$, $K_i = 0,041698$, dan $K_d = 493,4464$ sebagai parameter



awal teoritis. Pada pengujian *closed-loop*, *setpoint* 55 °C dicapai sekitar 15 menit dengan *overshoot* 1%, tetapi kadar air akhir masih sekitar 20% setelah 60 menit. Kondisi terbaik pada data yang tersedia diperoleh pada *setpoint* 60 °C, dengan waktu mencapai *setpoint* sekitar 12 menit, *overshoot* kurang dari 1%, dan kadar air turun di bawah 10% setelah 50 menit. Pada gangguan pembukaan pintu selama 5 menit, sistem memulihkan temperatur ke 60 °C dalam sekitar 7 menit. Dibandingkan PWM tetap, pengendalian umpan balik menurunkan *overshoot* dari 4% menjadi 1% pada pengujian yang dibandingkan. Dengan demikian, sistem menunjukkan kelayakan teknis sebagai prototipe otomasi pengeringan pupuk, tetapi klaim efisiensi energi dan keunggulan terhadap metode konvensional masih memerlukan eksperimen pembandingan yang setara, replikasi, pengukuran konsumsi energi, serta pelaporan ketidakpastian sensor.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Marintika, L. Cundari, and F. H. Kurniawan, "Proses pengeringan NPK berdasarkan evaluasi rotary dryer dan kadar air NPK di PT Petrokimia Gresik," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 14, no. 1, pp. 273–289, 2023, doi: 10.21776/jrm.v14i1.1279.
- [2] A. Febriansyah, R. Ramadhana, and A. Altway, "Studi karakteristik pengeringan pupuk NPK (15:15:15) menggunakan tray dryer," 2022.
- [3] S. Aryza, H. Hermansyah, A. P. U. Siahaan, S. Suherman, and Z. Lubis, "Implementasi energi surya sebagai sumber suplai alat pengering pupuk petani portabel," *IT Journal Research and Development*, vol. 2, no. 1, pp. 12–18, 2021, doi: 10.25299/itjrd.2017.vol2(1).642166.
- [4] E. Sucipto and M. Nyoto, "Rancang bangun alat pengering media pada pembuatan pupuk granul organik mikro organisme lokal (MOL)," in *Prosiding*, pp. 284–287, 2022.
- [5] M. Rakyat et al., "Study of air distribution in tray dryer using computational fluid dynamics," *Engineering and Applied Science Research*, vol. 48, no. 6, pp. 684–693, 2021, doi: 10.14456/easr.2021.69.
- [6] S. Faradisa, P. Rusimanto, and K. P. Cohen-Coon, "Perancangan kontroler PI dengan metode tuning Cohen-Coon untuk kendali suhu pada inkubator bayi berbasis LabVIEW 2014," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 9, no. 2, pp. 293–301, 2021.
- [7] S. Muharom, I. Masfufiah, R. A. Firmansyah, A. Hamid, and S. Oetomo, "Implementasi kontrol suhu menggunakan metode PID pada aplikasi inkubator infant warmers," *Jurnal Cyclotron*, vol. 4, no. 1, pp. 55–59, 2021.
- [8] H. Supriyanto, F. Suryatini, A. R. H. Martawireja, and H. Rudiansyah, "Implementasi kontroler PID dengan metode tuning Ziegler-Nichols dan Cohen-Coon pada sistem SCADA kendali level air," *JTT (Jurnal Teknologi Terapan)*, vol. 8, no. 2, p. 149, 2022, doi: 10.31884/jtt.v8i2.410.
- [9] A. Mulyanto, I. M. Nuarsa, M. Haerudin, and Nurchayati, "Analisa pengaruh persentase luas area penampang ducting udara masuk ruang pengering terhadap laju pengeringan ikan dengan sumber panas kondensor AC," *Jurnal Keteknikan*, vol. 1, no. 1, pp. 7–16, 2022.
- [10] B. Purwanto and J. Raya Lenteng, "Analisis distribusi udara dan panas pada pengering rumah kaca dan rak susun," *Srengseng Sawah*, vol. 27, no. 1, pp. 44–51, 2025.
- [11] H. Setiana, A. K. Wardhany, and M. F. Aldian, "Perancangan antarmuka HMI pada miniatur sistem AHU menggunakan EasyBuilder Pro," in *Seminar Nasional Teknik Elektro*, vol. 11, no. 1, pp. 160–167, 2025.
- [12] M. I. Wahyudi, Z. Irfan, P. Suharti, and H. Dewajani, "Aplikasi tuning dengan metode Cohen-Coon pada pengendali suhu air (SE 404) secara simulasi dan praktikum," *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 11, no. 4, pp. 614–623, 2025, doi: 10.33795/distilat.v11i4.6776.
- [13] B. Cahyono, A. Budijanto, and Y. A. K. Utama, "Prototipe monitoring lampu listrik terpusat menggunakan komunikasi RS485," in *Seminar Nasional Ilmu Terapan*, vol. 12, no. 2, pp. 1–6, 2021.
- [14] M. Luqman, B. Anggraheny, H. Herwandi, and A. Murtono, "Aplikasi dan unjuk kerja motor driver L-298 dan BTS7960 sebagai power switching pada inverter," *Jurnal Eltek*, vol. 23, no. 1, pp. 9–15, 2025, doi: 10.33795/eltek.v23i1.6656.

