

ANALISIS RESPONS TRANSIEN DAN KARAKTERISTIK TERMAL SENSOR DS18B20 PADA RUANG SAMPLING DINAMIS MESIN PENGERING PUTAR GABAH

Adi Bagus Pamungkas¹, Imam Abdul Rozaq²
202252018@std.umk.ac.id¹, imam.rozaq@umk.ac.id²
Universitas Muria Kudus

ABSTRAK

Akurasi pengindraan temperatur gabah secara real-time di dalam mesin pengering putar (rotary dryer) kerap mengalami distorsi akibat dinamisnya pergerakan material serta adanya interferensi radiasi kalor dari saluran intake yang menimbulkan fenomena kelambatan termal (thermal lag). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik respons transien dan menentukan konstanta waktu (τ) sensor digital DS18B20, sekaligus menguji keandalan mekanisme sampling gabah jatuh berbasis mikrokontroler ESP32. Dalam implementasinya, probe sensor disematkan di dalam wadah penampung berdimensi 13×10×4,5" cm berbahan isolator termal melalui komunikasi bus 1-Wire. Hasil pengujian eksperimental pada spektrum suhu 30^o "C" hingga 60^o "C" dengan target setpoint 50^o "C" membuktikan bahwa sensor mencapai konstanta waktu (τ) dalam durasi 18" detik" pada titik 42,70^o "C", serta membutuhkan waktu sekitar 80" detik" untuk memasuki kondisi tunak (steady-state). Konstruksi ruang sampling terbukti mampu mengisolasi panas dari aliran intake, di mana suhu wadah kosong tertahan stabil di angka 33,5^o "C" dan langsung melonjak akurat menjadi 49,8^o "C" ketika muatan gabah menimbun sensor. Walaupun teridentifikasi adanya inersia termal minor berupa retensi panas pada dinding wadah sebesar 35,2^o "C" pasca-pengosongan, pengujian komparatif terhadap instrumen referensi mencatatkan rata-rata galat (error) yang sangat minim yakni sebesar 0,39% dengan tingkat presisi akurasi mencapai 99,61%.

Kata Kunci: DS18B20, ESP32, Konstanta Waktu (τ), Mekanisme Sampling Gabah, Respons Transien, Rotary Dryer, Thermal Lag.

PENDAHULUAN

Tahap pengeringan pascapanen merupakan proses krusial yang menentukan persentase beras utuh (head rice yield) serta memitigasi cacat fisik atau diskolorasi akibat stres termal pada butiran gabah (Abud-Archila et al., 2000; Soponronnarit et al., 2005). Dalam industri pengolahan gabah, penerapan mesin pengering putar (rotary dryer) menjadi pilihan utama karena putaran silinder drum mampu meningkatkan homogenitas paparan udara panas terhadap material pengeringan (Mujumdar, 2014; Green & Southard, 2019). Meskipun memberikan keunggulan efisiensi secara mekanis, karakteristik butiran gabah yang bergerak acak dan terus bergulir (tumbling) menghadirkan kompleksitas tinggi pada aspek instrumentasi, khususnya dalam mengakuisisi data suhu aktual material secara presisi dan waktu-nyata (real-time) (Baker, 1997; Mujumdar, 2014; PLOS ONE, 2021).

Pada sistem pengeringan konvensional, penempatan sensor suhu yang statis di dalam ruang drum umumnya hanya membaca temperatur udara pengering atau titik ukur lokal yang tidak merepresentasikan suhu rata-rata gabah secara keseluruhan (PLOS ONE, 2021). Ketidakakuratan data masukan ini berisiko memicu kesalahan regulasi pada mikrokontroler, seperti pemutusan pemanas sebelum kadar air target tercapai atau pemanasan berlebih yang merusak mutu gabah (Baker, 1997; Mujumdar, 2014). Selain isu representativitas titik ukur, kajian terdahulu oleh Singh et al. (2021) pada rotary dryer dan Ramdani & Novani (2026) pada sistem kendali otomatis umumnya masih mengandalkan sensor statis tanpa mengevaluasi karakteristik respons transien instrumen. Padahal, waktu

respons dan kelambatan termal (thermal lag) dari transduser sangat menentukan keselarasan antara keputusan aktuasi sistem kendali dengan kondisi termal aktual material yang dikeringkan (Fraden, 2016; Mujumdar, 2014).

Sebagai solusi atas limitasi instrumentasi pada material yang bergerak dinamis, penelitian ini menawarkan inovasi rekayasa berupa mekanisme dynamic sampling menggunakan wadah isolator termal berdimensi $13 \times 10 \times 4,5$ cm yang dipasang pada lengan penopang di dalam drum rotary dryer. Wadah ini berfungsi menangkap fraksi gabah jatuh (cascading) secara periodik, sehingga terjadi kontak konduksi langsung antara bijian gabah dengan probe sensor digital DS18B20 berbasis mikrokontroler ESP32. Mengingat posisi wadah berada dekat dengan saluran masuk udara panas (intake), studi ini difokuskan untuk menganalisis karakteristik respons transien dan konstanta waktu (τ) sensor, sekaligus mengkuantifikasi tingkat retensi panas (heat retention) dinding wadah agar tidak menimbulkan bias pembacaan termal pada sistem kendali pengeringan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan metodologi Research and Development (R&D) dengan memodelkan respons termal sensor suhu digital DS18B20 sebagai sistem orde pertama menggunakan pendekatan Lumped Capacitance Method. Sistem instrumentasi utama dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32 yang membaca transduser DS18B20 melalui komunikasi digital 1-Wire dengan resistor pull-up $4,7 \text{ k} \Omega$. Untuk menangkap suhu aktual material yang bergerak di dalam drum rotary dryer, dirancang wadah pengambilan sampel (sampling chamber) berbahan isolator termal berdimensi $13 \times 10 \times 4,5$ cm dengan kontur sudut membulat (fillet corners) guna mencegah penumpukan gabah statis. Wadah ini dipasang statis pada zona aliran masuk udara panas (intake), sehingga secara dinamis menampung dan memperbarui sampel fraksi gabah jatuh (cascading grain) selama drum berputar. Alur regulasi termal diatur secara otomatis dalam lingkaran tertutup (closed-loop control), di mana ESP32 memutus aktuator burner dan motor blower apabila akuisisi data suhu gabah (Process Variable) melampaui ambang batas acuan (Setpoint) yang ditetapkan pada suhu 50°C .

Prosedur pengujian sistem dan validasi data dilaksanakan melalui tiga tahapan eksperimental. Tahap pertama adalah karakterisasi akurasi statis sensor DS18B20 pada rentang 30°C hingga 75°C yang dikomparasi dengan termometer referensi standar. Tahap kedua adalah penentuan konstanta waktu (τ) instrumen melalui pengujian pembebanan impuls kalor mendadak (step-input response), di mana nilai τ diekstraksi dari deret waktu pengujian pada durasi saat pembacaan sensor mencapai deviasi 63,2% dari total perubahan suhu menuju kesetimbangan tunak ($T_{(63,2\%)} = T_0 + 0,632 \times [T_\infty - T_0]$). Tahap ketiga adalah karakterisasi efektivitas isolasi termal wadah yang diuji melalui tiga kondisi operasi berurutan selama 30 menit: uji paparan udara blower pada wadah kosong untuk mengukur isolasi konveksi, uji kontak muatan gabah panas, dan uji pengosongan wadah untuk memetakan fenomena inersia termal serta retensi kalor pada dinding isolator.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Validasi metrologis terhadap transduser suhu digital DS18B20 melalui pengujian komparatif dengan termometer referensi standar pada spektrum 30°C hingga 75°C menunjukkan kinerja pembacaan yang sangat linear dan presisi. Dari hasil komputasi deret pengamatan, instrumen ini mencatatkan rata-rata kesalahan ukur relatif (mean relative error) yang sangat minim yakni hanya sebesar 0,39%, dengan tingkat akurasi rata-rata mencapai 99,61% dan simpangan absolut maksimal tidak melebihi $0,45^\circ \text{C}$ (pada titik referensi 70°C). Tingkat presisi tinggi yang berada jauh di bawah ambang

toleransi kesalahan rekayasa industri ini mengonfirmasi bahwa akuisisi data digital antarmuka 1-Wire pada ESP32 bekerja sangat stabil dan terbukti layak digunakan sebagai sensor parameter utama dalam sistem kendali rotary dryer.

Dalam analisis dinamika respons transien terhadap pembebanan impuls kalor mendadak (step-input response) dari suhu lingkungan 30°C menuju target setpoint gabah 50°C , instrumen DS18B20 memperlihatkan trajektori kenaikan mengikuti kurva peluruhan eksponensial orde pertama. Berdasarkan ekstraksi log data empiris, titik defleksi 63,2% dari gradien perubahan suhu tunak (pada suhu referensi acuan $42,64^{\circ}\text{C}$) berhasil dicapai oleh pembacaan sensor pada angka $42,70^{\circ}\text{C}$ dalam durasi waktu 18" detik. Nilai konstanta waktu ($\tau=18$ " detik) ini merupakan manifestasi impedansi thermal lag agregat akibat resistansi konduksi dari selubung pelindung stainless steel pada probe DS18B20 serta kapasitansi termal tumpukan gabah itu sendiri. Sementara itu, fase kesetimbangan tunak (steady-state settling time) baru tercapai secara sempurna pada interval waktu sekitar 80" detik (rentang saturasi $4\tau-5\tau$), yang menunjukkan bahwa sistem kendali membutuhkan kompensasi waktu tunda (dead-time) dalam mengeksekusi regulasi pemanas agar tidak terjadi overshoot.

Evaluasi terhadap arsitektur rekayasa wadah pengambilan sampel (sampling chamber) membuktikan efektivitas isolasi termalnya dari gangguan eksternal. Pada uji paparan konveksi saat wadah dalam kondisi kosong dan blower meniupkan udara panas $50,0^{\circ}\text{C}$, probe DS18B20 hanya mengalami defleksi minor di angka $33,5^{\circ}\text{C}$, yang membuktikan bahwa rendahnya konduktivitas termal material wadah berhasil memblokir interferensi radiasi panas saluran intake. Pembacaan baru melonjak drastis dan akurat ke angka $49,8^{\circ}\text{C}$ sesaat setelah fraksi gabah jatuh (cascading) menimbun probe, mengonfirmasi bahwa sistem murni bekerja berdasarkan transfer kalor konduksi solid-ke-solid dari butiran gabah panas (grain-to-probe conduction). Selanjutnya, pada uji pengosongan wadah teridentifikasi adanya fenomena inersia termal di mana peluruhan suhu tidak berlangsung instan melainkan tertahan pada titik kesetimbangan radiatif baru di angka $35,2^{\circ}\text{C}$. Retensi kalor sisa (residual heat) pada dinding wadah ini justru memberikan kompensasi kestabilan (thermal damping) yang menguntungkan karena mampu meredam osilasi pembacaan akibat turbulensi udara sementara di dalam drum pengering berputar.

KESIMPULAN

Implementasi mekanisme sampling dinamis berbasis jatuhnya gabah (cascading grain sampling) yang terintegrasi dengan sensor DS18B20 dan mikrokontroler ESP32 terbukti memiliki keandalan metrologis serta representativitas data yang sangat tinggi untuk memantau suhu material aktual pada rotary dryer. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem instrumentasi ini mampu menghasilkan rata-rata kesalahan ukur relatif (mean relative error) yang sangat minim sebesar 0,39% dengan tingkat presisi akurasi mencapai 99,61%. Dari aspek dinamika termal, respons transien sensor merambat mengikuti kurva eksponensial dengan nilai konstanta waktu (τ) sebesar 18" detik (tercapai pada titik $42,70^{\circ}\text{C}$) dan memasuki kondisi tunak (steady-state settling time) dalam waktu sekitar 80" detik. Keterlambatan respons tersebut merupakan akumulasi impedansi termal dari selubung stainless steel probe dan kapasitansi massa gabah. Sementara itu, desain geometris dan pemilihan material wadah penampung terbukti sangat efektif mengisolasi sensor dari interferensi konveksi udara panas intake—dibuktikan oleh suhu wadah kosong yang tertahan stabil di angka $33,5^{\circ}\text{C}$ saat blower meniupkan udara $50,0^{\circ}\text{C}$, dan langsung melonjak presisi ke angka $49,8^{\circ}\text{C}$ saat muatan gabah menimbun probe sensor.

Secara rekayasa sistem, fenomena inersia termal berupa retensi kalor sisa pada dinding wadah pasca-pengosongan yang meluruh lambat ke titik $35,2^{\circ}\text{C}$ justru memberikan keuntungan berupa kompensasi kestabilan (thermal damping). Efek ini efektif mencegah osilasi pembacaan mikrokontroler akibat turbulensi udara sementara di dalam drum berputar. Sebagai implikasi praktis untuk pengembangan berkelanjutan, adanya konstanta waktu penundaan selama 18" detik" ini merekomendasikan perlunya peningkatan algoritma kendali pada ESP32 dari sistem ON/OFF konvensional menuju metode kendali adaptif seperti Proportional-Integral-Derivative (PID) dengan kompensasi waktu mati (dead-time compensation). Langkah ini diperlukan guna memprediksi trajektori suhu gabah sebelum mencapai setpoint, sehingga risiko pemanasan berlebih (overshoot/overheating) pada komoditas dapat dieliminasi secara proaktif pada siklus pengeringan kontinu.

DAFTAR PUSAKA

- Abud-Archila, M., & C., F. (2000). Processing quality of rough rice during drying – modelling of head rice yield versus moisture gradients and kernel temperature. *Journal of Food Engineering*.
- Baker, C. G. J. (1997). *Industrial Drying of Foods*.
- Coradi, P. C., & M., S. (2021). Development and validation of a heated drying air diffusion system to optimize rotary dryers and final coffee quality. *PLOS ONE*.
- Fraden, J. (2016). *Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications* (5th ed.). Springer.
- Green, D. W., & Southard, M. Z. (Eds.). (2019). *Perry's Chemical Engineers' Handbook* (9th ed.). McGraw-Hill Education.
- Mujumdar, A. S. (Ed.). (2014). *Handbook of Industrial Drying* (4th ed.). CRC Press.
- Prachyawarakorn, S., Soponronnarit, S., et al. (2005). Quality maintenance and economy with high-temperature paddy-drying processes. *Journal of Stored Product Research*.
- Ramdani, F., & Novani, P. (2026). Design and implementation of an automatic rotating paddy drying system based on microcontroller using fuzzy logic. *Journal on Computer Hardware, Signal Processing, Embedded System and Networking*.
- Singh, P., & M., P. (2022). Experimental investigation of paddy drying characteristics in a slitless rotary fluidized-bed dryer. *Drying Technology*.