

Perancangan Sistem Kendali Temperatur dan Monitoring Tungku Pembakaran Sampah Berbasis IoT Menggunakan NodeMCU ESP8266 dan Sensor DS18B20 dengan Kontrol PWM Adaptif

Mohammad Yunus^{1,*}, Sumpena²

^{1,2} Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Dirgantara dan Industri, Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma, Jakarta, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 24 Februari 2026
Direvisi: 4 Maret 2026
Diterima: 9 Maret 2026

Kata kunci:

IoT
NodeMCU ESP8266
DS18B20
PWM
Tungku Pembakaran Sampah.

Keywords:

IoT
NodeMCU ESP8266
DS18B20
PWM control
Waste Incinerator.

Penulis Korespondensi:

Mohammad Yunus
Email:
yunusmohammad1203@gmail.com

ABSTRAK

Pengelolaan sampah melalui metode pembakaran terbuka masih sering dilakukan oleh masyarakat, namun proses tersebut umumnya tidak efisien karena fluktuasi suhu yang tidak stabil serta menghasilkan asap hitam akibat pembakaran yang tidak sempurna. Penelitian ini bertujuan merancang sistem kendali temperatur otomatis dan monitoring jarak jauh pada tungku pembakaran sampah berbasis Internet of Things (IoT) untuk meningkatkan efisiensi proses pembakaran. Metode penelitian menggunakan pendekatan eksperimental yang meliputi perancangan perangkat keras menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP8266, sensor suhu DS18B20, serta modul AC Light Dimmer berbasis Pulse Width Modulation (PWM) untuk mengatur kecepatan kipas secara adaptif. Sistem juga dilengkapi dengan antarmuka monitoring berbasis Telegram untuk pemantauan suhu secara real-time. Hasil pengujian selama 75 menit menunjukkan bahwa sistem pada mode otomatis mampu mencapai suhu maksimum sebesar 132,45°C, lebih tinggi dibandingkan mode manual yang hanya mencapai 126,94°C. Penerapan kontrol PWM memungkinkan pengaturan suplai oksigen yang lebih adaptif sehingga meningkatkan suhu pembakaran sebesar 5,51°C serta mempercepat reduksi asap hitam. Dengan demikian, sistem kendali temperatur berbasis IoT yang dirancang mampu meningkatkan efisiensi proses pembakaran sekaligus memudahkan monitoring operasional secara jarak jauh.

Waste management through open burning is still widely practiced by communities; however, the process is often inefficient due to unstable temperature fluctuations and the production of dense black smoke caused by incomplete combustion. This study aims to design an automatic temperature control and remote monitoring system for a waste incineration furnace based on the Internet of Things (IoT) to improve combustion efficiency. The research employed an experimental approach involving hardware design using a NodeMCU ESP8266 microcontroller, a DS18B20 temperature sensor, and an AC Light Dimmer module based on Pulse Width Modulation (PWM) to dynamically regulate fan speed. The system was also integrated with a Telegram-based interface for real-time temperature monitoring. Experimental results over a 75-minute testing period showed that the automatic mode achieved a maximum temperature of 132.45°C, which is higher than the manual mode that only reached 126.94°C. The implementation of PWM control enabled adaptive oxygen supply regulation, increasing the combustion temperature by 5.51°C and accelerating the reduction of black smoke. Therefore, the proposed IoT-based temperature control system successfully improves combustion efficiency while enabling convenient remote monitoring for operational supervision.

Copyright © 2026 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk yang pesat dan perubahan pola konsumsi masyarakat di Indonesia telah menyebabkan peningkatan volume sampah yang signifikan setiap tahunnya [1]. Kondisi ini seringkali tidak sebanding dengan kapasitas penampungan di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) yang kian terbatas, sehingga menimbulkan krisis pengelolaan limbah di tingkat rumah tangga maupun komunitas [2]. Sebagai jalan pintas, sebagian besar masyarakat masih mengandalkan metode pembakaran sampah secara terbuka (*open burning*). Namun, praktik ini justru memicu persoalan baru berupa polusi udara yang berdampak buruk pada kesehatan masyarakat dan kelestarian lingkungan karena menghasilkan gas beracun seperti karbon monoksida (CO) serta senyawa lainnya akibat pembakaran tidak sempurna [3], [4].

Beberapa penelitian terdahulu telah berupaya mengatasi masalah efisiensi pembakaran melalui berbagai metode kontrol. Misalnya, penggunaan mikrokontroler Arduino sebagai pengendali insinerator berbasis sensor suhu telah dilakukan untuk memantau panas di dalam tungku [5]. Selain itu, implementasi sistem *Double Blower* juga pernah diteliti untuk meningkatkan suplai udara, namun seringkali kecepatannya bersifat statis sehingga tidak responsif terhadap fluktuasi api [6]. Di sisi lain, sistem pemantauan suhu berbasis IoT menggunakan sensor DHT11 atau DS18B20 pada aplikasi pendingin ruangan telah membuktikan akurasi sensor digital dalam manajemen suhu [7], [8]. Meskipun demikian, integrasi antara kontrol kecepatan kipas yang adaptif secara otomatis menggunakan *Pulse Width Modulation* (PWM) dengan sistem monitoring jarak jauh melalui Telegram API masih jarang diterapkan pada tungku pembakaran sampah skala kecil [9].

dalam studi ini terletak pada pengembangan sistem kendali tertutup (*closed-loop*) yang menghubungkan data suhu *real-time* dari sensor DS18B20 secara langsung dengan modul *PWM Dimmer* untuk mengatur suplai oksigen secara dinamis [8], [10]. Perbedaan utama dengan penelitian sebelumnya adalah penggunaan algoritma yang menyesuaikan kecepatan kipas berdasarkan rentang suhu tertentu guna memastikan oksidasi tetap sempurna sekaligus menyediakan antarmuka pemantauan jarak jauh yang interaktif melalui bot Telegram [9].

pemilihan arsitektur sistem ini didasarkan pada keunggulan NodeMCU ESP8266 sebagai unit pemroses utama yang sudah memiliki modul Wi-Fi internal, sehingga memungkinkan implementasi IoT yang lebih ringkas dan ekonomis dibandingkan penggunaan Arduino dengan tambahan modul eksternal [5], [11]. Pemilihan sensor suhu DS18B20 didukung oleh kemampuannya yang memiliki akurasi tinggi dan protokol komunikasi *1-Wire*, yang sangat efektif untuk meminimalisir penggunaan pin pada mikrokontroler namun tetap presisi dalam mendeteksi panas tungku [8], [12]. Penggunaan modul *AC Light Dimmer* berbasis PWM dipilih karena mampu memodulasi tegangan kipas AC secara halus, sehingga perubahan sirkulasi udara di dalam tungku dapat berlangsung lebih stabil tanpa membebani motor kipas secara berlebihan [6].

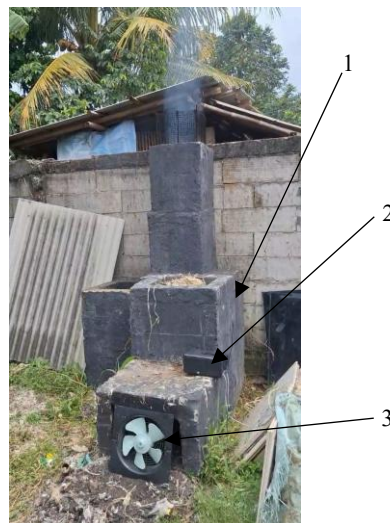
Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem kendali temperatur pada tungku pembakaran sampah berbasis NodeMCU ESP8266 [5]. Diharapkan dengan adanya sistem ini, proses pembakaran dapat berlangsung lebih cepat, suhu tetap terjaga tinggi untuk meminimalisir asap hitam, dan pengelolaan sampah menjadi lebih terkontrol serta ramah lingkungan [13].

II. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental yang meliputi tahap perancangan perangkat keras (*hardware*), pengembangan perangkat lunak (*software*), serta pengujian integrasi sistem. Pendekatan ini dipilih untuk memastikan bahwa setiap komponen, mulai dari akuisisi data suhu hingga respon kontrol kipas, berjalan sesuai dengan algoritma yang dirancang.

2.1 Perancangan Sistem dan Arsitektur Perangkat Keras

Arsitektur sistem kendali temperatur ini dirancang secara terintegrasi dengan menempatkan NodeMCU ESP8266 sebagai unit pemroses sentral yang mengendalikan seluruh aliran data dari sensor menuju aktuator. Arsitektur ini menggunakan pendekatan sistem kendali tertutup (*closed-loop control*) untuk menjaga kestabilan suhu di dalam tungku pembakaran.

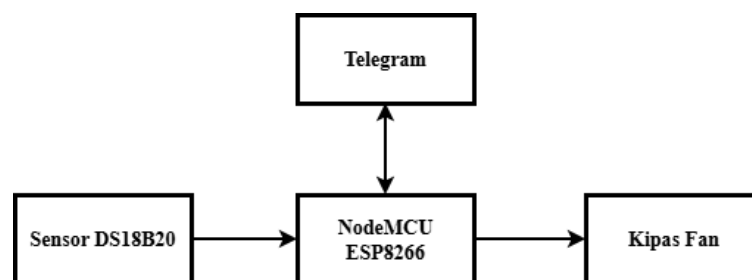


Gambar 1 Posisi Perangkat Keras pada Alat

Pemasangan perangkat keras pada struktur alat dibagi menjadi tiga bagian utama berdasarkan fungsinya:

1. **Unit Akuisisi Data (Input):** Sensor suhu digital DS18B20 ditempatkan pada titik strategis di dinding bagian atas atau tengah tungku untuk menangkap fluktuasi panas secara presisi. Sensor ini dipilih karena akurasinya yang tinggi dan protokol komunikasi *1-Wire* yang efisien.
2. **Unit Pemroses (Control):** NodeMCU ESP8266 bersama dengan catu daya diletakkan di dalam kotak panel (panel box) yang terisolasi di sisi luar tungku guna menghindari panas berlebih dari ruang bakar.
3. **Unit Aktuator (Output):** Kipas AC (*exhaust fan*) dipasang pada saluran udara bagian bawah tungku untuk mensuplai oksigen ke dalam ruang bakar. Kecepatan kipas diatur oleh modul *AC Light Dimmer* berbasis *Pulse Width Modulation* (PWM) yang menerima perintah dari NodeMCU.

Penempatan komponen ini dilakukan untuk memastikan sirkulasi udara yang optimal; di mana udara yang disuplai oleh kipas dialirkan langsung ke bagian bawah untuk mendukung proses oksidasi, sementara sensor memantau hasil panasnya di bagian atas guna memberikan umpan balik (*feedback*) kepada sistem untuk menyesuaikan kecepatan putaran kipas secara otomatis.



Gambar 2 Blok diagram sistem

Berdasarkan blok diagram yang disajikan pada Gambar 2, sistem ini bekerja secara terintegrasi antara perangkat keras dan antarmuka perangkat lunak. Sensor DS18B20 berfungsi sebagai unit akuisisi data yang mengirimkan sinyal suhu digital ke NodeMCU ESP8266. Selanjutnya, mikrokontroler memproses data tersebut untuk menentukan besaran nilai PWM yang harus dikirimkan ke modul *AC Light Dimmer*.

Proses ini menciptakan siklus kendali tertutup (*closed-loop control*) di mana kecepatan kipas akan selalu menyesuaikan dengan fluktuasi suhu di dalam tungku secara *real-time*. Selain itu, jalur komunikasi Wi-Fi pada NodeMCU memungkinkan pengiriman data *log* suhu ke server Telegram, sehingga pengguna dapat memantau status pembakaran tanpa harus berada di dekat tungku.

2.2 Integrasi Internet of Things (IoT) dan Antarmuka Telegram

Untuk mendukung pemantauan jarak jauh, sistem ini diintegrasikan dengan platform Telegram melalui protokol *Application Programming Interface* (API). Perangkat lunak yang ditanamkan pada NodeMCU diprogram untuk mengirimkan data temperatur secara berkala ke bot Telegram. Selain sebagai media *monitoring*, Telegram juga berfungsi sebagai alat kendali manual (*remote control*). Pengguna dapat mengirimkan perintah tertentu untuk mengubah mode operasi dari otomatis ke manual atau menyesuaikan setpoint suhu secara langsung melalui ponsel pintar.

2.3 Algoritma Kendali PWM

Logika kontrol yang diterapkan pada sistem ini adalah pembagian rentang suhu ke dalam beberapa tingkatan *duty cycle* pada PWM. Apabila sensor mendeteksi kenaikan suhu yang ekstrem, mikrokontroler akan memerintahkan modul *dimmer* untuk meningkatkan kecepatan kipas guna menyuplai oksigen lebih banyak, yang bertujuan mempercepat proses pembakaran sempurna dan mengurangi kepekatan asap hitam. Sebaliknya, saat suhu mencapai target optimal, kecepatan kipas akan diturunkan secara otomatis untuk menjaga kestabilan panas di dalam tungku.

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Analisis Data Hasil Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan untuk memvalidasi performa sistem kendali temperatur pada tungku pembakaran dengan membandingkan dua skenario operasional: mode manual dan mode otomatis

Tabel 1 Tabel data suhu dengan mode kipas manual

Waktu (Menit)	Jam	Suhu (°C)	PWM Dimer	Status Kipas	Status Asap
15	12.10	27,69	100%	Manual	Berasap Hitam Tebal
30	12.25	41,54	100%	Manual	Berasap Hitam Tebal
45	12.40	72,39	100%	Manual	Berasap Hitam Sedikit
60	12.55	88,24	100%	Manual	Berasap Putih
75	13.10	126,94	100%	Manual	Berasap Putih

Tabel 2 Tabel data suhu dengan mode kipas otomatis

Waktu (menit)	jam	Suhu (°C)	PWM Dimer	Status Kipas	Status Asap
15	16.10	28°C	100%	Otomatis	Berasap Hitam Tebal
30	16.25	50,12°C	80%	Otomatis	Berasap Hitam Tebal
45	16.40	82,67°C	75%	Otomatis	Berasap Hitam Sedikit
60	16.55	100,84°C	50%	Otomatis	Berasap Hitam Sedikit
75	17.10	132,45°C	50%	Otomatis	Berasap Putih

Berdasarkan data pada Tabel 1 dan Tabel 2, terlihat perbedaan gradien kenaikan suhu yang signifikan. Pada mode manual (Tabel 1), meskipun kipas bekerja konstan pada 100%, suhu pada menit ke-75 hanya mencapai 126,94°C. Sebaliknya, pada mode otomatis (Tabel 2), suhu mampu menyentuh angka 132,45°C.

Hal ini menunjukkan bahwa efisiensi pembakaran tidak hanya ditentukan oleh besarnya tiupan udara, tetapi oleh ketepatan waktu suplai oksigen. Pada mode otomatis, sistem mengatur kecepatan kipas secara dinamis. Penurunan nilai PWM (dari 100% ke 50%) seiring kenaikan suhu pada Tabel 2 sebenarnya merupakan bentuk efisiensi sistem untuk menjaga rasio udara-bahan bakar (*air-fuel ratio*).

Hasilnya, terjadi peningkatan panas sebesar $5,51^{\circ}\text{C}$ yang membuktikan bahwa kontrol otomatis lebih efektif dalam mengonversi material sampah menjadi energi panas dibandingkan tiupan statis.

3.2 Analisis Efektivitas Kontrol PWM dan Reduksi Emisi

Secara termodinamika, fenomena pada menit ke-45 hingga ke-75 memberikan wawasan penting. Pada mode manual, asap tetap berwarna putih tebal meskipun suhu naik, menandakan masih adanya partikel tak terbakar yang terbawa udara.

Namun, pada mode otomatis, kecepatan kipas yang diatur melalui *duty cycle* PWM pada modul dimmer memberikan tekanan udara yang lebih adaptif. Peningkatan suhu ke $132,45^{\circ}\text{C}$ pada mode otomatis memberikan energi aktivasi yang cukup untuk membakar partikel sisa karbon lebih tuntas. Secara visual, ini terjustifikasi dengan perubahan status asap menjadi "Putih Tipis" lebih cepat. Hal ini menegaskan bahwa algoritma kontrol PWM berhasil mengoptimalkan pembakaran tanpa menyebabkan pemborosan energi listrik pada motor kipas.

3.3 Pengujian Antarmuka Telegram dan Konektivitas

Pengujian antarmuka Telegram menunjukkan latensi rata-rata 1-2 detik. Dari perspektif operasional, latensi yang rendah ini sangat krusial. Jika terjadi lonjakan suhu ekstrim (misalnya akibat jenis sampah plastik yang memiliki nilai kalor tinggi), operator dapat menerima notifikasi secara instan dan melakukan tindakan preventif melalui bot Telegram.

Keberhasilan pengiriman data 100% membuktikan bahwa pemilihan arsitektur NodeMCU ESP8266 adalah tepat untuk lingkungan operasional tungku, di mana koneksi Wi-Fi internal mikrokontroler tetap stabil meskipun berada di dekat area dengan panas radiasi dari tungku. Ini memberikan justifikasi bahwa sistem monitoring IoT bukan sekadar fitur tambahan, melainkan instrumen keselamatan kerja bagi operator.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil memberikan kontribusi teknis berupa perancangan sistem kendali suhu tertutup berbasis NodeMCU ESP8266 yang mengintegrasikan sensor DS18B20 dengan algoritma PWM dinamis serta sistem pemantauan jarak jauh melalui platform Telegram secara *real-time*. Hasil kuantitatif utama menunjukkan bahwa penerapan kendali PWM terbukti efektif meningkatkan performa termal dengan pencapaian suhu maksimal sebesar $132,45^{\circ}\text{C}$, yang secara signifikan lebih tinggi dan konsisten dibandingkan mode manual, serta mampu mempercepat reduksi asap hitam melalui pengaturan sirkulasi udara yang responsif. Sebagai rekomendasi pengembangan, diperlukan penggunaan isolasi panas yang lebih baik pada ruang bakar untuk meminimalisir rugi panas (*heat loss*) agar suhu optimal dapat tercapai dalam waktu di bawah 60 menit. Adapun arah penelitian lanjutan yang disarankan adalah integrasi sensor gas densitas asap (seperti MQ-2 atau MQ-135) untuk menyediakan data polusi yang bersifat kuantitatif serta penerapan kontrol PID (*Proportional-Integral-Derivative*) guna mencapai stabilitas temperatur yang lebih presisi pada titik setel (*setpoint*) yang diinginkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Juhan, "Implementasi Insinerator untuk Pengolahan Sampah di Desa Alue Lim Lhokseumawe," vol. 9, 2025.
- [2] B. Yulianti, Munnik Haryanti, Yohannes Dewanto, Tateng Sukendar, dan Rachman Bayu Pratama, "Pemanfaatan Rocket Stove Sebagai Alat Pembakar Dan Pengering Sampah Organik Sebagai Solusi Pengurangan Sampah Berkelanjutan," *Jurnal Bakti Dirgantara*, vol. 2, no. 2, hlm. 103–110, Mei 2025, doi: 10.35968/evq54p66.
- [3] A. Bhikuning, B. Setiawan, S. A. Setiawan, dan H. E. Potto, "A review of combustion in waste incinerator and its emissions," *BIS Energy and Engineering*, vol. 2, hlm. V225030, Mei 2025, doi: 10.31603/biseeng.221.
- [4] M. Delkash, "Air Emissions from Combustion and Incineration Processes: Insights into Air Quality and US EPA Regulations," 1 Januari 2026, *Springer Nature*. doi: 10.1007/s11270-025-08765-7.

- [5] M. I. Ashari dan A. Artiyani, "Utilization of Arduino as Incinerator Control Using Temperature Sensor," *International Journal of Information System & Technology Akreditasi*, vol. 6, no. 158, hlm. 361–367, 2022.
- [6] T. Bizaq Noriansyah, S. Mujiarto, dan N. Hayati, "AutoMech Jurnal Teknik Mesin Perancangan Ruang Pembakaran Incinerator dan Analisis Efisiensi Pembakaran Menggunakan Double Blower," hlm. 63–67, 2025.
- [7] A. Bensattalah dan Y. Belhadji, "Evaluating Sensor-Derived Data Quality for IoT-based Temperature Monitoring," 2024, hlm. 103–116. doi: 10.2991/978-94-6463-496-9_9.
- [8] H. Markiano, "PERANCANGAN DAN EVALUASI SISTEM PENDINGIN MINI BUAH DAN SAYURAN BERBASIS SENSOR DS18B20 DAN DHT11," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 13, no. 3, Jul 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i3.6930.
- [9] F. Permana Putra, S. Sabirin, dan H. Soetanto, "Prototype of Internet of Things-Based Control System Using Telegram with Bot API Method," *Heading Syntax Transformation*, vol. 6, no. 2, 2025.
- [10] J. Lips, S. DeYoung, M. Schönsteiner, dan H. Lens, "Closed-loop Identification of a MSW Grate Incinerator using Bayesian Optimization for Selecting Model Inputs and Structure," Jan 2024, doi: 10.1016/j.conengprac.2024.106075.
- [11] T. Immawan, M. I. Rofif, W. N. Cahyo, F. A. Waskita, dan M. R. Suryoputro, "Design and performance analysis of IoT-based portable waste incinerator for environmental efficiency and marketing," *OPSI*, vol. 18, no. 2, hlm. 270–280, Des 2025, doi: 10.31315/opsi.v18i2.14734.
- [12] A. Y. Setiawati dan M. Haryanti, "Evaluasi Akurasi Sensor Suhu Digital untuk Aplikasi Pemantauan Suhu Ruangan Penyimpanan: Studi Indoor dan Outdoor," *JURNAL TEKNOLOGI INDUSTRI*, vol. 14, no. 1, hlm. 1–6, Des 2025, doi: 10.35968/jti.v14i1.1712.
- [13] B. Riyanto, D. Widarbowo, M. Idris, D. D. S. Nugroho, dan M. Setiyono, "Design Environmentally-Friendly Incinerator and Hybrid Smokeless Incinerator Sorong of Merchant Marine Polytechnic," *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*, vol. 4, no. 1, hlm. 55–60, Mar 2024, doi: 10.47709/brilliance.v4i1.3703.