

Smart Oven berbasis IoT menggunakan Fuzzy Mamdani untuk Pengeringan Cepat Kerupuk Kemplang

Putri Salsabila Utami¹, Aryanti Aryanti^{1,*}, Lindawati Lindawati¹, Ibnu Asrafi²

¹, Program Studi Teknik Telekomunikasi, Politeknik Negeri Sriwijaya, Indonesia

² Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Negeri Sriwijaya, Indonesia

* Correspondence: aryanti@polsri.ac.id

Copyright: © 2025 by the authors

Received: 18 Agustus 2025 | Revised: 27 Agustus 2025 | Accepted: 6 Oktober 2025 | Published: 3 Desember 2025

Abstrak

Kerupuk kemplang Palembang secara tradisional dikeringkan di bawah sinar matahari selama 8–16 jam, bahkan hingga tiga hari pada kondisi mendung. Proses ini tidak efisien dan sangat bergantung pada cuaca. Penelitian ini bertujuan mengembangkan *Smart Oven* pengering kerupuk kemplang berbasis metode Fuzzy Mamdani sebagai solusi otomatis untuk mempercepat proses pengeringan sekaligus menjaga kualitas produk. Jenis penelitian kami adalah pengembangan menggunakan metode prototype dengan tahapan analisis, desain, pembuatan prototipe dan pengujian. Sistem dirancang menggunakan sensor termokopel untuk pengukuran suhu, sensor berat HX711, heater sebagai pemanas, serta modul ESP32 yang terhubung dengan aplikasi Blynk sehingga memungkinkan pengaturan dan pemantauan melalui *smartphone*. Metode Fuzzy Mamdani digunakan untuk mengontrol suhu, berat, dan waktu pengeringan secara adaptif terhadap kondisi dinamis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *Smart Oven* mampu menurunkan waktu pengeringan dari rata-rata tiga hari menjadi hanya 2–5 jam pada suhu optimal sekitar 150–160°C, dengan tingkat kehilangan berat di bawah 3%. Produk yang dihasilkan lebih renyah, memiliki warna merata, dan umur simpan lebih panjang dibandingkan metode tradisional maupun mesin uap. Temuan ini menunjukkan bahwa penerapan logika Fuzzy Mamdani dalam *Smart Oven* tidak hanya meningkatkan efisiensi energi dan waktu, tetapi juga menjamin kualitas kerupuk kemplang secara konsisten.

Kata kunci : fuzzy mamdani; iot; kerupuk kemplang; pengeringan otomatis; smart oven

Abstract

Palembang kemplang crackers are traditionally dried in the sun for 8-16 hours, even up to three days in cloudy conditions. This process is inefficient and highly dependent on the weather. This research aims to develop a Smart Oven dryer for kemplang crackers based on the Fuzzy Mamdani method as an automated solution to speed up the drying process while maintaining product quality. Our type of research is development using prototype method with stages of analysis, design, prototyping and testing. The system is designed using thermocouple sensor for temperature measurement, HX711 weight sensor, heater as heater, and ESP32 module connected with Blynk application to allow setting and monitoring through smartphone. Fuzzy Mamdani method is used to control temperature, weight, and drying time adaptively to dynamic conditions. The test results show that the Smart Oven is able to reduce the drying time from an average of three days to only 2-5 hours at an optimal temperature of around 150-160°C, with a weight loss rate below 3%. The resulting product is crispier, evenly coloured, and has a longer shelf life compared to traditional methods and steam engines. These findings show that the application of Fuzzy Mamdani logic in the Smart Oven not only improves energy and time efficiency, but also ensures consistent quality of kemplang crackers.

Keywords : automatic drying; fuzzy mamdani; iot; kemplang crackers; smart oven



PENDAHULUAN

Kerupuk kemplang adalah makanan tradisional khas Palembang yang memiliki nilai ekonomi, budaya, dan sosial yang tinggi. Produk ini banyak dikonsumsi baik di pasar lokal maupun sebagai oleh-oleh khas daerah. Tahap pengeringan merupakan aspek vital dalam proses produksi, karena memengaruhi kerenyahan, warna, tekstur, dan masa simpan produk. Namun, metode pengeringan yang lazim digunakan saat ini masih didominasi cara tradisional, yaitu menjemur di bawah sinar matahari langsung. Proses ini membutuhkan waktu 8–16 jam dalam kondisi cuaca cerah, bahkan dapat mencapai 2–3 hari pada musim hujan atau mendung (Kurniawan et al., 2021). Ketergantungan pada cuaca membuat proses produksi tidak stabil dan berisiko menyebabkan kerugian pada produsen. Selain itu, aspek kebersihan juga sulit dijaga, karena kerupuk sering terpapar debu, serangga, atau polusi lingkungan sekitar (Velga et al., 2023).

Sebagai alternatif, sebagian pengrajin beralih menggunakan mesin uap atau oven sederhana untuk mempercepat proses. Mesin uap memangkas waktu pengeringan menjadi sekitar 6 jam, tetapi memiliki konsumsi energi relatif tinggi (Kariongan & Ranteallo, 2023), menghasilkan panas yang kurang merata, serta tidak memungkinkan pengaturan suhu dan kelembapan secara presisi. Seiring meningkatnya kesadaran konsumen terhadap aspek higienitas pangan, kebutuhan teknologi pengering higienis dan ramah lingkungan semakin mendesak (Ramadhan et al., 2024). Tren industri 4.0 menuntut sistem pengolahan pangan berbasis otomasi dan *internet of things* (IoT). IoT adalah konsep yang menghubungkan perangkat fisik ke jaringan internet sehingga dapat saling bertukar data dan dikendalikan dari jarak jauh (Khemakhem & Krichen, 2024; Kopetz & Steiner, 2022; Padmanaban et al., 2023; Putri et al., 2024). Dengan teknologi IoT, proses dapat dipantau dan dikontrol secara real-time melalui perangkat pintar, sehingga meningkatkan efisiensi sekaligus mempermudah produsen dalam menjaga kualitas produk (Aryanti & Valentina, 2025; Lindawati et al., 2025; Putri et al., 2025; Wibowo et al., 2024; Zidni & Ikrimach, 2023).

Melihat realitas tersebut, pengembangan teknologi pengering modern yang efisien, higienis, hemat energi, dan adaptif menjadi kebutuhan mendesak. Salah satu pendekatan yang menjanjikan adalah pemanfaatan logika fuzzy sebagai sistem kendali cerdas, karena mampu menangani ketidakpastian variabel dalam proses pengeringan (Abbas et al., 2022; Imamguluyev, Imanova, et al., 2023; Zeng et al., 2025) seperti suhu dan kelembapan (Hidayatulloh & Aryanto, 2023). Metode *Fuzzy Logic* adalah pendekatan kecerdasan buatan yang digunakan untuk menangani ketidakpastian pada proses pengambilan keputusan (Bressane et al., 2024). Dibandingkan logika biner yang kaku (0 dan 1), fuzzy memungkinkan variabel memiliki nilai keanggotaan yang lebih fleksibel di antara dua ekstrem. Hal ini menjadikannya sangat relevan untuk proses pengendalian suhu, kelembapan, dan berat yang bersifat dinamis (Al Awadh & Mallick, 2024; Imamguluyev, Umarova, et al., 2023).

Salah satu varian yang paling banyak digunakan adalah Fuzzy Mamdani, karena mampu meniru pola pikir manusia dalam pengambilan keputusan berbasis aturan linguistik (*if-then rules*) (Mastrocinque et al., 2022; Restrepo-Morales et al., 2024; Vashishtha et al., 2023). Kelebihannya antara lain: mudah dipahami, hasil keluaran yang intuitif, dan akurat dalam pengendalian sistem non-linear (Hidayatulloh & Aryanto, 2023; Mbende et al., 2023; Mirzaee & Kazemi, 2024; Tang & Ahmad, 2024).

Beberapa penelitian sebelumnya telah menerapkan logika fuzzy dan IoT pada sistem pengeringan, namun masih terdapat keterbatasan yang belum terjawab. Kurniawan et al. (2021) merancang alat pengering kerupuk kemplang otomatis dengan tambahan blower untuk meratakan panas. Namun, sistem ini masih bergantung pada tenaga surya dan belum menggunakan IoT untuk monitoring jarak jauh. Sementara itu, Velga et al. (2023) mengembangkan penjemur kerupuk otomatis berbasis fuzzy dengan heater tambahan.

Meskipun mampu menjaga suhu di 55°C, sistem ini belum dapat mengontrol variabel lain seperti berat produk dan tidak memiliki integrasi IoT.

Selanjutnya Ramadhan et al. (2024) merancang pengering kerupuk kulit berbasis fuzzy dengan mikrokontroler. Penelitian ini fokus pada kerupuk kulit, belum ada penerapan khusus pada kerupuk kemplang Palembang dengan karakteristik unik (lebih tipis, berbahan ikan tenggiri). Selain itu, IoT lebih banyak untuk monitoring kesehatan dan pertanian, bukan pengeringan pangan tradisional seperti Zidni & Ikrimach (2023) mengintegrasikan fuzzy dengan IoT untuk klasifikasi kesehatan jantung berbasis Android. Dan juga Wibowo et al. (2024) mengembangkan monitoring aeroponik berbasis IoT dengan fuzzy Sugeno. Fokus penelitian masih pada pertanian, bukan pengolahan pangan tradisional.

Berdasarkan hasil temuan sebelumnya, tidak ada penelitian yang menggabungkan multi-parameter (suhu + berat) dalam pengeringan kerupuk kemplang. Sebagian besar penelitian mereka hanya berfokus pada suhu. Padahal, pengendalian berat selama proses pengeringan juga penting untuk menjamin kerenyahan dan kualitas produk. Penelitian ini bertujuan membangun *Smart Oven* pengering kerupuk kemplang berbasis metode Fuzzy Mamdani. Selain itu, kami mengintegrasikan sensor termokopel, HX711, heater, serta modul ESP32 dengan aplikasi Blynk untuk kontrol dan monitoring real-time. Sistem ini juga membuktikan bahwa penerapan logika Fuzzy Mamdani berbasis IoT dapat meningkatkan efisiensi proses pengeringan kerupuk kemplang.

METODE

Jenis penelitian ini adalah pengembangan dengan menggunakan metode *Prototype* karena sesuai untuk merancang dan menguji sistem Smart Oven pengering kerupuk kemplang berbasis Fuzzy Mamdani dan IoT. Metode ini dilakukan secara iteratif dengan melibatkan beberapa tahap yaitu, identifikasi masalah atau analisis kebutuhan, desain atau perancangan, pembuatan dan pengujian. Tahap awal dilakukan untuk mengidentifikasi permasalahan pengeringan kerupuk kemplang Palembang, yaitu waktu pengeringan yang lama, ketergantungan pada cuaca, serta kualitas produk yang tidak konsisten.

Perancangan awal meliputi diagram blok sistem dan rancangan komponen utama yaitu pada proses input menggunakan sensor suhu (termokopel), sensor berat (HX711). Pada tahapan proses menggunakan mikrokontroler ESP32 yang mengimplementasikan metode Fuzzy Mamdani. Hasil output menggunakan heater sebagai sumber panas, serta aplikasi Blynk untuk monitoring suhu, berat, dan status heater melalui *smartphone*.

Pada tahap selanjutnya adalah pembuatan atau membangun prototype kami melakukan perakitan ESP32, sensor termokopel, sensor berat HX711, heater, serta casing oven untuk hardwarenya. Sementara itu software, kami melakukan pemrograman ESP32 dengan Arduino IDE, pembuatan aturan fuzzy Mamdani, serta integrasi dengan aplikasi Blynk. Selanjutnya Basis aturan fuzzy mamdani dibuat berdasarkan variabel suhu {dingin, normal, panas} dan berat {berat, sedang, ringan}, dengan output berupa pengaturan daya heater {off, medium, high}.

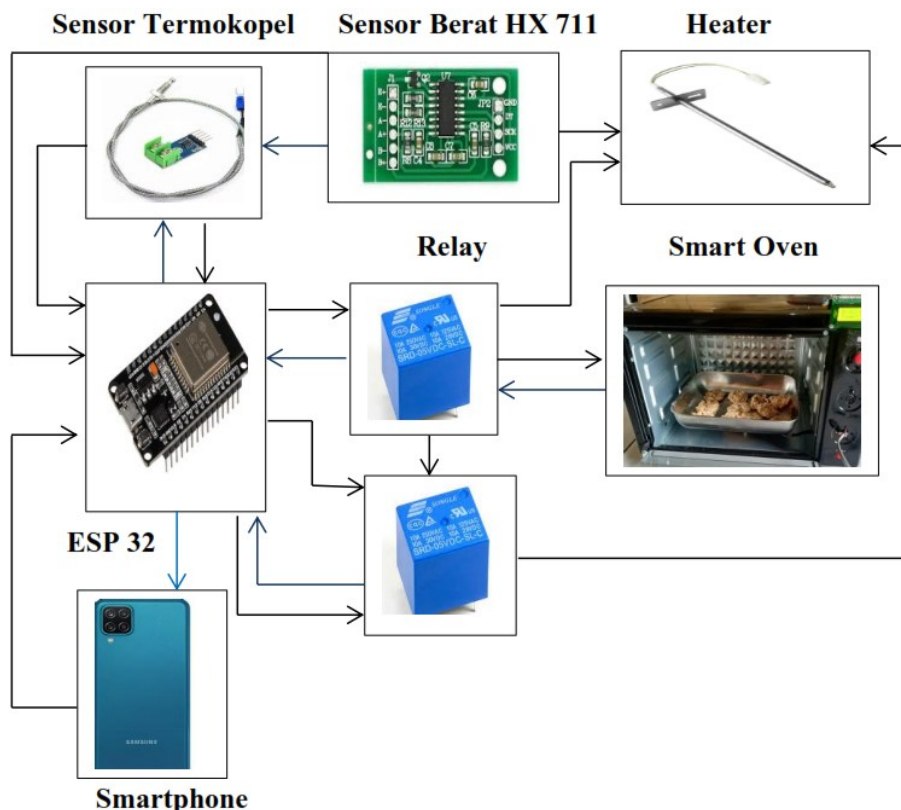
Pada tahap akhir yaitu pengujian, terdapat dua mode yaitu mode manual dan mode otomatis. Pada mode manual, sistem Smart Oven ini akan dikendalikan melalui aplikasi blynk dengan memberikan input berupa nilai yang sesuai. Lalu mode otomatis, alat dirancang dengan tiga sensor dan memiliki nilai yang sesuai menggunakan Fuzzy Mamdani. Selanjutnya sistem monitoring akan ditampilkan melalui Display LCD dan aplikasi blynk yang akan menampilkan data

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

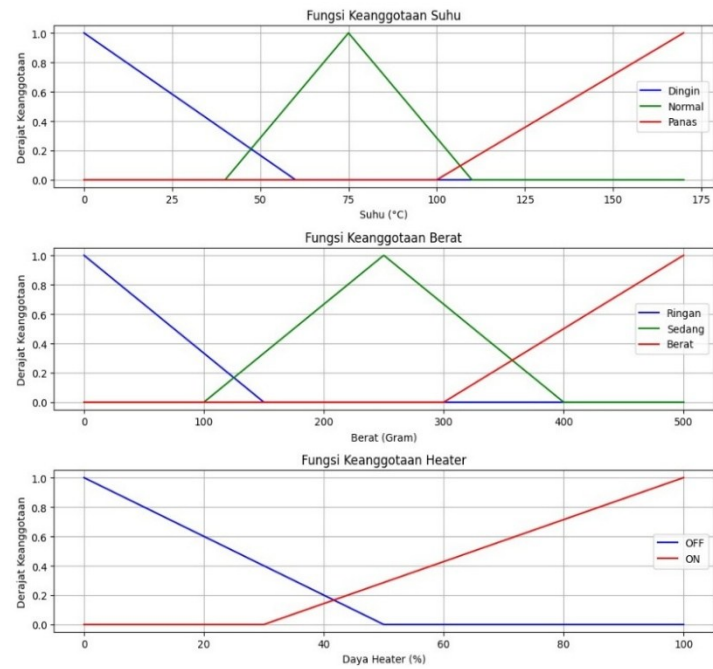
Hasil identifikasi masalah dan kebutuhan menunjukkan bahwa proses pengeringan kerupuk kemplang Palembang yang selama ini dilakukan secara tradisional masih memiliki banyak kelemahan. Proses penjemuran dengan sinar matahari membutuhkan waktu delapan hingga enam belas jam, bahkan dapat mencapai dua hingga tiga hari jika kondisi cuaca mendung, sehingga sangat bergantung pada faktor eksternal yang tidak dapat dikendalikan. Selain itu, metode tersebut menyebabkan kualitas produk tidak konsisten, tekstur kerupuk tidak selalu renyah, warna kurang merata, serta rentan terhadap kontaminasi debu dan serangga yang membuatnya tidak higienis. Berdasarkan analisis kebutuhan, maka dirumuskan bahwa diperlukan sistem pengering otomatis yang mampu mempercepat waktu produksi, menjaga kualitas produk, serta memungkinkan monitoring secara real-time dengan dukungan teknologi IoT.

Hasil pada tahapan perancangan menghasilkan gambaran awal Smart Oven berbasis logika fuzzy dan IoT seperti nampak pada gambar 1. Pada tahap ini dirancang diagram blok sistem yang memuat alur kerja mulai dari sensor suhu dan sensor berat sebagai input, mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pemrosesan data, heater sebagai aktuator, hingga aplikasi Blynk sebagai antarmuka monitoring dan kontrol jarak jauh. Sketsa rancangan oven juga dibuat dengan mempertimbangkan distribusi panas yang merata pada seluruh rak serta penempatan sensor agar dapat mendeteksi perubahan suhu dan berat dengan lebih akurat.



Gambar 1. Rancang bangun *smart oven* pengering kerupuk kemplang Palembang

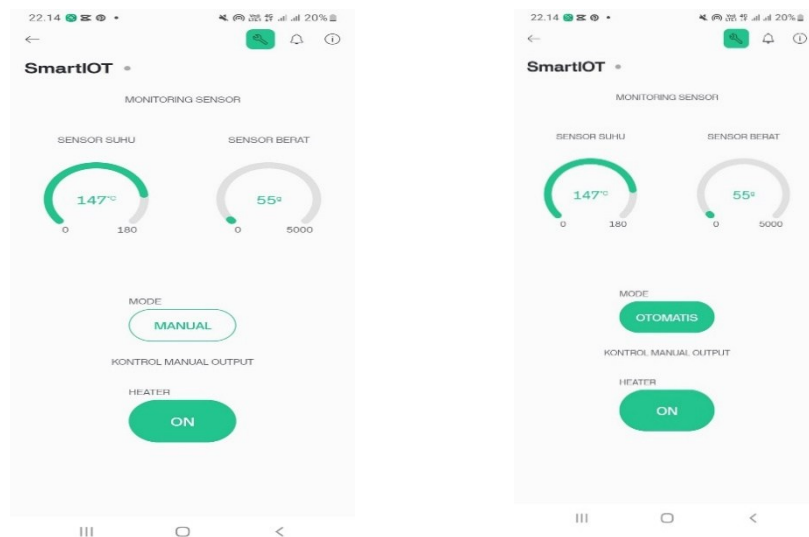
Selanjutnya data berupa himpunan non-Fuzzy (crisp) yang diperoleh dari sensor-sensor tersebut untuk tiap variabel nantinya diterima oleh ESP 32 dan menyambungkan ke dalam himpunan Fuzzy sesuai dengan variasi input sehingga mengubah fungsi keanggotaan seperti fungsi keanggotaan suhu, keanggotaan berat dan keanggotaan heater yang dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Hasil monitoring suhu, berat dan heater







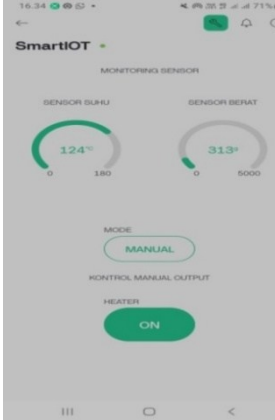







Gambar 3. Tampilan smart oven



Gambar 4. Tampilan aplikasi blynk dengan mode manual dan otomatis

Tabel 1. Hasil pengujian smart oven dengan fuzzy logic

<i>Input</i>		<i>Output</i>	
No	Suhu Heater	Berat	Smart Oven dengan Fuzzy Logic
1.	84°C (Dingin)	160 gram	  
2.	134°C (Panas)	314 gram	  
3.	125°C (Normal)	313 gram	  
4.	82°C (Terlalu Panas)	161 gram	  

Prototype smart oven pengering kerupuk kemplang berhasil diwujudkan melalui proses perancangan dan perakitan yang mengintegrasikan perangkat keras, perangkat lunak, serta metode pengendalian berbasis logika fuzzy Mamdani seperti yang terlihat pada gambar 3. Oven dirancang menggunakan material baja ringan dengan lapisan isolator panas agar panas di dalam ruang oven tetap stabil dan tidak banyak terbuang. Di dalamnya dipasang heater berkapasitas 800 Watt sebagai sumber panas utama, yang dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32. Dua sensor utama digunakan dalam sistem, yaitu sensor termokopel tipe K untuk mengukur suhu di dalam oven dan sensor berat HX711 untuk memantau penurunan massa kerupuk selama proses pengeringan berlangsung. Perangkat keras ini kemudian dihubungkan dengan perangkat lunak yang diprogram melalui Arduino IDE untuk mengimplementasikan algoritma fuzzy mamdani yang bertugas memproses data sensor menjadi keputusan kontrol daya *heater*.

Aplikasi Blynk ditambahkan sebagai antarmuka berbasis IoT pada gambar 4, memungkinkan pengguna memantau suhu, berat, dan status heater secara real-time melalui *smartphone*. Pada tahap awal, sistem berhasil merespons input sensor dengan baik, heater menyala sesuai perintah fuzzy, dan data ditampilkan secara langsung pada aplikasi Blynk. Hasil ini membuktikan bahwa *prototype* yang dibangun dapat berfungsi sesuai rancangan, meskipun masih memerlukan penyempurnaan pada kalibrasi sensor berat dan penyesuaian distribusi panas di dalam oven agar hasil pengeringan lebih merata. Secara keseluruhan, pembuatan *prototype* ini menunjukkan bahwa integrasi logika fuzzy Mamdani dengan teknologi IoT mampu diwujudkan dalam bentuk *smart oven* yang adaptif, efisien, dan relevan untuk mendukung pengolahan pangan tradisional secara modern.

Hasil pengujian terhadap prototipe *smart oven* berbasis fuzzy logic pada tabel 1 menunjukkan variasi respons sistem terhadap input suhu dan berat bahan uji. Pada pengujian pertama, suhu oven berada pada 84°C yang dikategorikan sebagai kondisi dingin, dengan beban sebesar 160 gram. Sementara itu, pada pengujian kedua, suhu mencapai 134°C yang masuk kategori panas dengan beban 314 gram. Pengujian ketiga menunjukkan suhu 125°C yang diklasifikasikan sebagai normal dengan beban 313 gram. Adapun pada pengujian keempat, suhu turun menjadi 82°C yang oleh sistem diidentifikasi sebagai kondisi terlalu panas, dengan beban 161 gram. Temuan ini mengindikasikan bahwa mekanisme fuzzy logic mampu memberikan interpretasi terhadap kondisi suhu dan menyesuaikan output sistem meskipun terdapat variasi pada parameter berat.

Pembahasan

Tahap awal *prototype* menemukan bahwa proses pengeringan kerupuk kemplang Palembang masih manual dan tidak konsisten. Permasalahan utama adalah ketidakpastian dalam faktor cuaca, lamanya waktu, serta kualitas produk yang tidak seragam. Dengan logika fuzzy mamdani mampu mengatasi kondisi yang tidak pasti (*uncertainty*) dengan aturan linguistik. Misalnya, keadaan “suhu cukup panas” atau “berat cukup ringan” tidak dapat direpresentasikan oleh logika biner, tetapi dapat dimodelkan dalam fuzzy. Hasil identifikasi menunjukkan bahwa metode tradisional pengeringan kerupuk kemplang masih sangat bergantung pada sinar matahari sehingga membutuhkan waktu 8–16 jam, bahkan hingga 2–3 hari ketika cuaca mendung. Hal ini sejalan dengan temuan Zidni & Ikrimach (2023) yang menyebutkan bahwa ketergantungan pada faktor lingkungan dalam proses pengolahan pangan menurunkan produktivitas dan konsistensi kualitas produk. Selain itu, dari sisi higienitas, produk yang dijemur di ruang terbuka sangat rentan terkontaminasi debu dan serangga, sebuah permasalahan yang juga diungkap oleh Hidayatulloh & Aryanto (2023) dalam kajian pengolahan makanan tradisional. Dengan demikian, kebutuhan akan sistem pengering otomatis yang efisien, higienis, dan terintegrasi dengan teknologi IoT menjadi semakin mendesak. Fokus penelitian terhadap produk pangan lokal kerupuk kemplang Palembang, yang belum banyak mendapat perhatian dalam penelitian otomatisasi pengeringan sebelumnya, sehingga

memberikan kontribusi kontekstual terhadap pengembangan teknologi pangan berbasis kearifan lokal.

Pada tahap perancangan, sistem *smart oven* diformulasikan dengan mengintegrasikan sensor suhu, sensor berat, mikrokontroler ESP32, heater, serta aplikasi Blynk sebagai interface IoT. Pendekatan ini sejalan dengan penelitian Velga et al. (2023) yang mengembangkan pengering otomatis berbasis fuzzy Mamdani untuk produk lain, namun penelitian tersebut belum mengintegrasikan aspek IoT untuk monitoring jarak jauh. Perbedaan signifikan penelitian ini dibandingkan penelitian sebelumnya adalah adanya kombinasi logika fuzzy Mamdani dan IoT, sehingga selain dapat melakukan kontrol otomatis berbasis aturan fuzzy, pengguna juga dapat memantau kondisi oven secara real-time melalui smartphone. Oleh karena itu, penelitian ini memberikan pengembangan dari temuan sebelumnya terletak pada rancangan sistem yang tidak hanya mengedepankan otomasi, tetapi juga konektivitas jarak jauh yang sesuai dengan paradigma *Industry 4.0*.

Prototype smart oven yang dihasilkan telah menggabungkan komponen hardware (ESP32, termokopel, HX711, *heater*, *casing oven*) dan software (Arduino IDE dan aplikasi Blynk) dalam satu kesatuan sistem. Hal ini konsisten dengan penelitian Ramadhan et al. (2024) yang membuktikan bahwa fuzzy Mamdani efektif untuk mengontrol suhu pengering kerupuk kulit. Namun, penelitian Ramadhan terbatas pada kontrol berbasis suhu saja, sedangkan penelitian ini menambahkan variabel berat sebagai parameter tambahan untuk menentukan tingkat kekeringan produk. Dengan demikian, sistem ini lebih adaptif karena mampu mempertimbangkan dua input fuzzy (suhu dan berat) untuk menghasilkan keputusan yang lebih presisi.

Hasil pengujian akhir memperlihatkan bahwa Smart Oven memperoleh suhu rata-rata ruang oven setelah proses pengeringan adalah sekitar 100 – 150°C. Pada kondisi tersebut, waktu pengeringan rata-rata selama 1 – 2 jam mampu menghasilkan kerupuk dengan tingkat kerenyahan maksimal, dan warna yang merata. Pola fluktuasi suhu dan berat yang direkam secara real-time menunjukkan bahwa kestabilan parameter oven sangat berpengaruh terhadap kualitas akhir produk. Suhu ini menunjukkan kestabilan yang cukup baik dalam menjaga proses penguapan air dari kerupuk kemplang secara merata dan konsisten. Selain itu, suhu tersebut juga berada dalam rentang optimal untuk mencegah terjadinya *over-drying* (pengeringan berlebihan) maupun *under-drying* (pengeringan yang kurang sempurna) dapat memengaruhi tekstur dan kualitas akhir produk. Oleh karena itu, pengaturan otomatis berbasis sensor suhu dan berat yang diintegrasikan dalam sistem terbukti mampu meningkatkan daya heater bernilai 74,72%.

Sistem ini juga mampu mempercepat waktu produksi dan mengurangi tingkat kegagalan produk akibat pengeringan yang tidak merata. Hasil ini memperkuat temuan penelitian sebelumnya bahwa fuzzy Mamdani dapat meningkatkan efisiensi sistem kendali (Ramadhan et al., 2024; Velga et al., 2023), tetapi penelitian kami memberikan tambahan bukti bahwa ketika dikombinasikan dengan IoT, sistem tidak hanya efisien tetapi juga transparan, terukur, dan dapat dikendalikan jarak jauh. Oleh karena itu penelitian kami telah menutupi kekurangan dari temuan sebelumnya dari sisi integrasi efisiensi waktu, konsistensi kualitas, dan monitoring IoT *real-time* yang belum pernah disajikan dalam penelitian serupa sebelumnya.

SIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan *smart oven* berbasis logika fuzzy Mamdani dan teknologi IoT sebagai solusi inovatif untuk mengatasi keterbatasan metode pengeringan tradisional kerupuk kemplang Palembang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu memangkas waktu pengeringan secara signifikan dari 2–3 hari menjadi hanya 2–5 jam, sekaligus menjaga kualitas produk agar lebih renyah, berwarna merata, higienis, dan memiliki masa simpan lebih panjang. Integrasi sensor suhu dan berat

dengan mikrokontroler ESP32, serta pemanfaatan aplikasi Blynk sebagai antarmuka IoT, menjadikan sistem ini tidak hanya efisien tetapi juga adaptif dan mudah dimonitor secara real-time.

REFERENSI

- Abbas, A. K., Al Mashhadany, Y., Hameed, M. J., & Algburi, S. (2022). Review of intelligent control systems with robotics. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Informatics (IJEI)*, 10(4), 734–753. <https://doi.org/10.52549/ijeel.v10i4.3628>
- Al Awadh, M., & Mallick, J. (2024). A decision-making framework for landfill site selection in Saudi Arabia using explainable artificial intelligence and multi-criteria analysis. *Environmental Technology & Innovation*, 33, 103464. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103464>
- Bressane, A., Garcia, A. J. da S., Castro, M. V. de, Xerfan, S. D., Ruas, G., & Negri, R. G. (2024). Fuzzy machine learning applications in environmental engineering: Does the ability to deal with uncertainty really matter? *Sustainability*, 16(11), 4525. <https://doi.org/10.3390/su16114525>
- Hidayatulloh, S., & Aryanto, J. (2023). Sistem Pengendalian Jemuran Otomatis berbasis IoT dengan Logika Fuzzy untuk Pengkondisian Cuaca. *Edumatic: Jurnal Pendidikan Informatika*, 7(2), 287–296. <https://doi.org/10.29408/edumatic.v7i2.21515>
- Imamguluyev, R., Imanova, T., Hasanova, P., Mammadova, A., & Hajizada, S. (2023). Unlocking energy efficiency: harnessing fuzzy logic control for lighting systems. *Procedia Computer Science*, 230, 574–583. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.12.113>
- Imamguluyev, R., Umarova, N., & Mikayilova, R. (2023). Navigating the ethics of the metaverse: a fuzzy logic approach to decision-making. *International Conference on Intelligent and Fuzzy Systems*, 53–60. https://doi.org/10.1007/978-3-031-39777-6_7
- Kariongan, Y., & Ranteallo, O. (2023). Rancangan Mesin Pengereng Ikan Tipe Kabinet dengan Memanfaatkan Sumber Panas Energi Alternatif. *Indonesian Journal Of Community Service*, 3(1), 30–38.
- Khemakhem, S., & Krichen, L. (2024). A comprehensive survey on an IoT-based smart public street lighting system application for smart cities. *Franklin Open*, 8, 100142. <https://doi.org/10.1016/j.fraope.2024.100142>
- Kopetz, H., & Steiner, W. (2022). Internet of things. In *Real-time systems: design principles for distributed embedded applications* (pp. 325–341). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-11992-7_13
- Kurniawan, W. B., Afriani, F., Aldila, H., & Tiandho, Y. (2021). Rancang bangun Alat Pengereng Otomatis Kerupuk Kemplang Di desa Penyak. *Kumawula*, 4(1), 38–42. <https://doi.org/10.24198/kumawula.v4i1.30037>
- Lindawati, L., Aryanti, A., Isnaini, A., Putri, N., Febriyanti, V., & Tsuroya, T. (2025). Innovative IoT-Based Fuzzy Logic Kitchen Model for Palembang's Traditional Crackers Production MSMEs. *Proceedings of the 8th FIRST 2024 International Conference on Global Innovations*, 166–181. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-678-9_17
- Mastrocinque, E., Lamberti, E., Ramirez, F. J., & Petrovic, D. (2022). Measuring open innovation under uncertainty: A fuzzy logic approach. *Journal of Engineering and Technology Management*, 63, 101673. <https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2022.101673>
- Mbende, E. T., Muluh, F. A., Pesdjock, M. J. P., Kenne, G., Dagang, C. T. S., & Sonfack, L. L. (2023). A simple fuzzy logic based DC link energy management system for hybrid industrial power supply. *Energy Reports*, 10, 3619–3628. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.10.047>
- Mirzaee, M., & Kazemi, R. (2024). Type-II fuzzy inference system-based fractional terminal

- sliding mode control for zero-force exoskeleton robots. *Iranian Journal of Fuzzy Systems*, 21(6), 147–171.
- Padmanaban, S., Nasab, M. A., Shiri, M. E., Javadi, H. H. S., Nasab, M. A., Zand, M., & Samavat, T. (2023). The role of internet of things in smart homes. *Artificial Intelligence-based Smart Power Systems*, 259–271. <https://doi.org/10.1002/9781119893998.ch13>
- Putri, N., Lindawati, L., & Aryanti, A. (2024). Implementasi dan Perbandingan Performa Algoritma Fuzzy Tsukamoto dan Mamdani pada Sistem Exhaust Fan Berbasis IoT. *Tech-E*, 8(1), 24–35.
- Putri, N., Lindawati, L., & Aryanti, A. (2025). Tsukamoto Fuzzy In IoT-Based Automatic Control System Of Kitchen Smoke MSME Palembang Crackers. *Journal of Informatics and Telecommunication Engineering*, 8(2), 165–180.
- Ramadhan, M. R., Darmawan, B., & Suksmadana, I. M. B. (2024). Rancang Bangun Alat Pengering Kerupuk Kulit Dengan Pemanas Heater Menggunakan Fuzzy Logic Berbasis Mikrokontroler. *TIN: Terapan Informatika Nusantara*, 4(12), 750–757. <https://doi.org/10.47065/tin.v4i12.5175>
- Restrepo-Morales, J. A., Ararat-Herrera, J. A., López-Cadavid, D. A., & Camacho-Vargas, A. (2024). Breaking the digitalization barrier for SMEs: a fuzzy logic approach to overcoming challenges in business transformation. *Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 13(1), 84. <https://doi.org/10.1186/s13731-024-00429-w>
- Tang, H. H., & Ahmad, N. S. (2024). Fuzzy logic approach for controlling uncertain and nonlinear systems: a comprehensive review of applications and advances. *Systems Science & Control Engineering*, 12(1), 2394429. <https://doi.org/10.1080/21642583.2024.2394429>
- Vashishtha, S., Gupta, V., & Mittal, M. (2023). Sentiment analysis using fuzzy logic: A comprehensive literature review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 13(5), e1509. <https://doi.org/10.1002/widm.1509>
- Velga, M. A., Amaluddin, F., Suryanto, A. A., & Indah, A. S. (2023). Rancang Bangun Penjemur Krupuk Otomatis Menggunakan Metode Fuzzy Yang Berbasis Arduino Uno Dengan Menambahkan Tubular Heater. *Seminar Nasional Teknologi & Sains*, 2(1), 405–412.
- Wibowo, M. A. A. G., Salamah, I., & Aryanti, A. (2024). Sistem Monitoring dan Kontrol Penyiraman Aeroponik Tanaman Selada berbasis IoT dengan Metode Fuzzy Sugeno. *Edumatic: Jurnal Pendidikan Informatika*, 8(2), 399–408. <https://doi.org/10.29408/edumatic.v8i2.27098>
- Zeng, Y., Hussein, Z. A., Chyad, M. H., Farhadi, A., Yu, J., & Rahbarimagham, H. (2025). Integrating type-2 fuzzy logic controllers with digital twin and neural networks for advanced hydropower system management. *Scientific Reports*, 15(1), 5140. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-89866-5>
- Zidni, G. S., & Ikrimach, I. (2023). Implementasi Metode Fuzzy Logic dan IoT untuk Klasifikasi Kondisi Kesehatan Denyut Jantung berbasis Android. *Edumatic: Jurnal Pendidikan Informatika*, 7(2), 366–375. <https://doi.org/10.29408/edumatic.v7i2.23092>