

Klasifikasi Sistem Pengujian Injektor Mobil Avanza Secara Otomatis Berbasis Logika *Fuzzy* Mamdani

Zanuar Rizkiansyah M.pd^{a,1,*}, Muhammad Yunus Ritonga^{b,2}

^a Universitas Cut Nyak Dhien Langsa, Indonesia

¹ zanuar.rizkiansyah@gmail.com; ² yunusritonga@gmail.com

* Corresponding Author

ARTICLE INFO

Article History

Received 14 January 2026

Revised 21 January 2026

Accepted 14 February 2026

Keywords

Injektor;

ESP32;

Logika *Fuzzy* Mamdani;

Load Cell;

Klasifikasi Otomatis.

ABSTRACT

Determining the physical condition of fuel injectors in motor vehicles specially for toyota avanza is often done subjectively by mechanics, which carries the risk of diagnostic errors and inefficient maintenance. This research aims to design and implement an automatic injector quality diagnostic system based on the ESP32 microcontroller by applying the Mamdani *Fuzzy* Logic algorithm. The system uses a Load Cell sensor to measure the volume of fuel sprayed and time variables as inputs for the fuzzification process. The Mamdani *Fuzzy* Logic algorithm processes these inputs through four rule bases to produce a quality score between 0 and 100, which is then classified into three categories Good, Fair, and Damaged. Diagnostic results are displayed in real-time via a interface connected through Wi-Fi. Based on testing 30 data samples, the system demonstrates highly reliable performance with an average precision of 93.73%, recall of 93,33% and F1-Score of 92.98%. The system proved effective in providing objective and consistent diagnostics. This research contributes to the standardization of injector component inspection through the integration of sensors and artificial intelligence.

Penentuan kondisi fisik injektor bahan bakar pada kendaraan bermotor khususnya pada mobil toyota avanza sering kali dilakukan secara subjektif oleh mekanik, yang berisiko menyebabkan kesalahan diagnosa dan ketidakefisienan perawatan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem diagnosa kualitas injektor otomatis berbasis mikrokontroler ESP32 dengan menerapkan algoritma Logika *Fuzzy* metode Mamdani. Sistem ini menggunakan sensor Load Cell untuk mengukur volume bahan bakar yang disemprotkan dan variabel waktu sebagai input proses fuzzifikasi. Algoritma *Fuzzy* Mamdani mengolah input tersebut melalui empat aturan untuk menghasilkan skor kualitas antara 0 hingga 100, yang kemudian diklasifikasikan ke dalam tiga kategori baik, kurang baik, dan rusak. Hasil diagnosa ditampilkan secara real-time melalui antarmuka web yang terhubung dengan koneksi Wi-Fi. Berdasarkan pengujian terhadap 30 sampel data, sistem menunjukkan performa yang sangat handal dengan tingkat rata-rata precicion 93,73%, recall 93,33% dan F1-Score sebesar 92,98%. Sistem terbukti efektif dalam memberikan diagnosa yang objektif dan konsisten. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam standarisasi pengecekan komponen injektor melalui integrasi sens sensor dan kecerdasan buatan.

1. Pendahuluan

Penentuan kondisi fisik injektor bahan bakar pada kendaraan bermotor, khususnya pada Toyota Avanza, sering kali dilakukan secara subjektif oleh mekanik. Penilaian manual ini berisiko menyebabkan kesalahan diagnosa yang berdampak pada ketidakefisienan biaya perawatan dan performa mesin yang tidak optimal [1]. Dibutuhkan sebuah instrumentasi yang mampu memberikan data kuantitatif mengenai volume semprotan dan durasi injeksi secara presisi agar perawatan kendaraan lebih terukur.

Solusi yang ditawarkan dalam penelitian ini adalah otomatisasi alat uji injektor menggunakan mikrokontroler ESP32 dan sensor Load Cell HX711. Integrasi ini memungkinkan pembacaan massa cairan yang kemudian dikonversi menjadi volume secara akurat. Penggunaan kecerdasan buatan berupa Logika *Fuzzy* metode Mamdani diterapkan untuk menangani ambiguitas data sensor guna menentukan kategori kondisi injektor secara objektif [2][3].

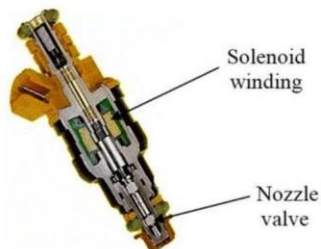
Penelitian ini merujuk pada beberapa studi terdahulu. Yusuf & Yasdin (2023) menggunakan mikrokontroler untuk kontrol durasi, namun interpretasi hasil masih dilakukan secara manual oleh teknisi. Penelitian oleh Yanuar dkk. (2021) fokus pada model sistem mekanis, sementara Tauhid dkk. (2025) membuktikan efektivitas Mamdani dalam mengatasi ketidakpastian data [4][5][6]. Kontribusi dari penelitian ini adalah mengintegrasikan sistem pengukuran berbasis sensor berat dengan algoritma Logika *Fuzzy* Mamdani untuk menghasilkan klasifikasi kondisi injektor secara otomatis dan real-time melalui antarmuka web, sehingga mengurangi faktor subjektivitas manusia dalam proses servis kendaraan.

2. Studi Literatur

2.1 Injektor

Injektor adalah alat yang digunakan dalam mesin injeksi yang bertugas menyuntikkan bahan bakar kedalam ruang bakar [7]. Menurut Yusuf & Yasdin (2023) kualitas semprotan sangat krusial bagi efisiensi pembakaran. Setidaknya ada dua parameter utama yang menentukan kinerja injektor yaitu volume semprotan (*flow rate*) dan waktu semprotan (*pulse width*).

Berdasarkan pedoman reparasi mesin toyota [8]. Standar injeksi optimum untuk injektor berada pada rentang 39 - 49 cm³ per 15 detik. Kondisi ini didefinisikan sebagai baik (normal). Secara empiris, penelitian tersebut menunjukkan volume injeksi rata-rata adalah 41,25 cm³ per 15 detik, memperkuat standar optimal tersebut. Panduan manual toyota (2012) lebih lanjut mengindikasikan standar semprotan injektor adalah 46 cm³ per 15 detik dengan toleransi 10 cm³. Klasifikasi kondisi injektor didasarkan pada semprotan (*Q*) yang dihasilkan, injektor dikategorikan tersumbat sebagian jika volume berada diantara 29-39 cm³, yang mengindikasikan penurunan kinerja dibawah batas optimal, namun masih fungsional. Sebaliknya, injektor dianggap rusak jika volume lebih kecil dari 29 cm³, menunjukkan kegagalan fungsi atau sumbatan parah akibat volume yang terlalu rendah dan injektor wajib diganti.



Gambar 1. Injektor (sumber : Rahmat hidayat,2019)

2.2 Logika *Fuzzy* Mamdani

Logika *fuzzy* mamdani diperkenalkan oleh Ebrahim mamdani pada tahun 1975 [9]. Metode mamdani adalah salah satu metode inferensi *fuzzy* yang berfungsi sebagai jembatan yang memungkinkan mesin untuk berpikir dan mengambil keputusan berdasarkan ambiguitas atau ketidakpastian, layaknya manusia [10]. Logika *fuzzy* mamdani akan berjalan melalui empat tahapan

yaitu fuzzifikasi, inferensi, agregasi dan defuzzifikasi.

2.3 Mikrokontroler ESP32

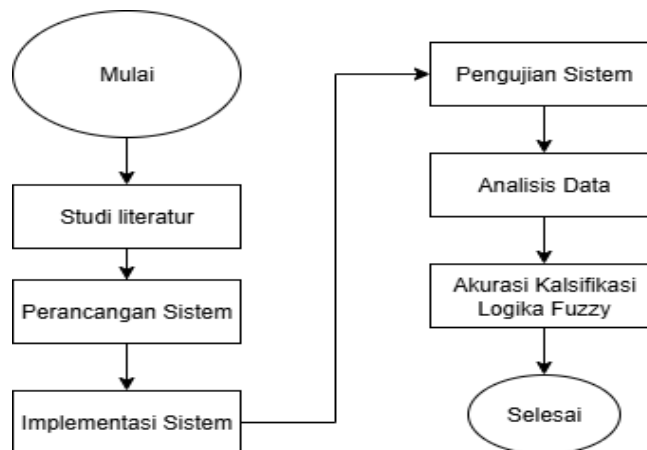
ESP32 adalah modul WiFi yang dikembangkan oleh Espressif Systems yang memiliki fitur lengkap dan kinerja yang baik. Modul ini merupakan pengembangan dari modul WiFi ESP8266. Terdapat dua CPU yang masing-masing memiliki tingkat kecepatan 80 MHz dan 160 MHz. Selain itu, ESP32 juga memiliki banyak perangkat tambahan seperti ADC, DAC, I2C, I2S, SPI, dan UART untuk berbagai macam aplikasi [11].

Salah satu fitur yang paling menonjol dari ESP32 adalah mudah terhubung dengan internet. Modul ini dapat terhubung ke jaringan WiFi dengan menggunakan protokol TCP/IP yang memungkinkan. ESP32 berkomunikasi dengan perangkat lain. Selain itu, ESP32 juga memiliki fitur Bluetooth untuk menghubungkan perangkat lain.

3. Metode Penelitian

3.1 Diagram Alir Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat beberapa urutan atau tahapan proses yang akan dilakukan dalam melakukan penelitian. Tahapan penelitian ini merupakan gambaran peneliti untuk menyelesaikan permasalahan yang dibahas sebelumnya.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Studi literatur adalah langkah awal dimana penelitian atau studi dilakukan untuk memahami masalah yang ingin dipecahkan dan merumuskannya dengan jelas. Setelah studi literatur dilakukan selanjutnya melakukan perancangan sistem, dimana berdasarkan kebutuhan sistem, desain untuk komponen perangkat keras (*hardware*) sistem dibuat. Desain perangkat keras kemudian diwujudkan dalam implementasi sistem.

Langkah selanjutnya implementasi logika *fuzzy mamdani* secara spesifik menunjukkan bahwa logika *fuzzy* diimplementasikan dalam perangkat lunak. Logika *fuzzy* sering digunakan untuk sistem kontrol yang membutuhkan penalaran perkiraan untuk menghadapi ketidakpastian.

Setelah perangkat keras dan lunak diimplementasikan, seluruh sistem diuji secara menyeluruh. Pengujian ini melibatkan verifikasi fungsionalitas, kinerja, dan keandalan baik komponen perangkat keras maupun perangkat lunak, serta interaksi diantara keduanya. Pada langkah terakhir akan dilakukan perhitungan akurasi klasifikasi *fuzzy*, jika hasil klasifikasi tidak akurat atau tidak sesuai harapan, proses pengujian atau perancangan harus dievaluasi kembali.

4. Hasil dan Pembuatan

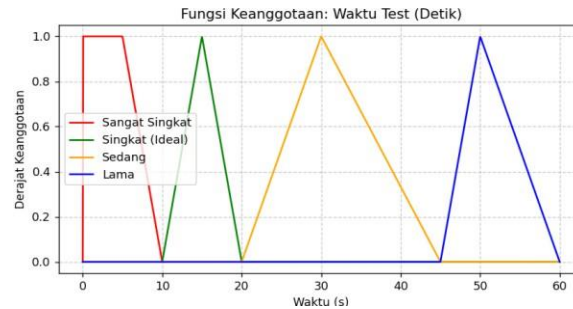
Sistem dirancang menggunakan ESP32 sebagai pusat pemrosesan data. Sensor Load Cell HX711 berfungsi mengukur volume cairan (Q), sementara durasi semprotan (T) diatur oleh sistem

melalui relay. Data tersebut menjadi input bagi algoritma *fuzzy* mamdani untuk diproses lebih lanjut.

4.1 Fuzzifikasi

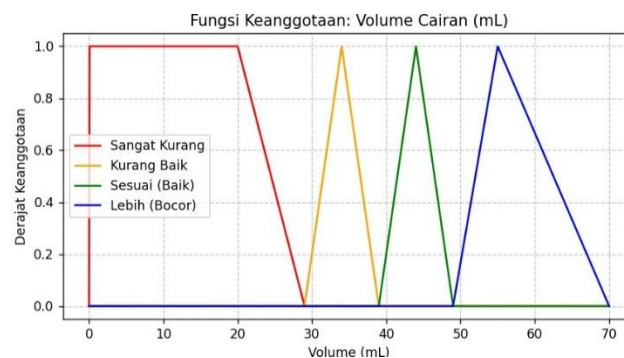
Proses fuzzifikasi mengubah variable crisp menjadi derajat keanggotaan fuzzy.

1. *Input waktu (T)* : sangat singkat, singkat, sedang, lama



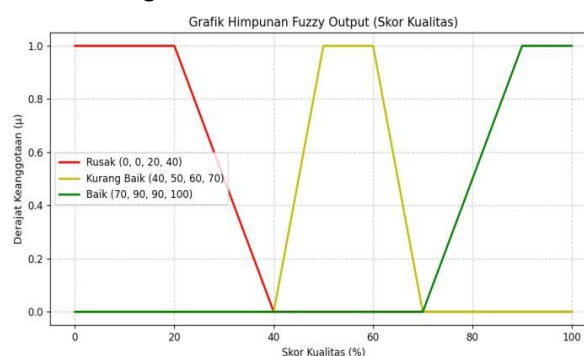
Gambar 3. Derajat keanggotaan waktu (T)

2. *Input Volume (Q)* : Sangat Kurang, Kurang Baik, Sesuai, Lebih



Gambar 4. Derajat keanggotaan volume (Q)

3. *Output Skor (Z)* : Baik, Kurang Baik, Rusak



Gambar 5. Keluaran skor (Z)

4.2 Aturan *Fuzzy* dan Inferensi

Aturan fuzzy pada sistem ini dibangun menggunakan operator logika AND dan OR untuk menghubungkan variabel masukan (waktu dan volume) dengan variabel output, fuzzy rules memungkinkan penggunaan aturan linguistik untuk menggambarkan hubungan antara parameter masukan dengan keluaran yang diharapkan dari sistem yang dibangun [12]. Berikut adalah rincian aturan yang diterapkan.

Tabel 1. Aturan Fuzzy

No	Operator	Kondisi Input (Antecedent)	Kesimpulan Output (Consequent)
R1	AND	IF Waktu Singkat AND Volume Sesuai	THEN Kualitas BAIK
R2	AND	IF Waktu Singkat AND Volume Kurang Baik	THEN Kualitas SEDANG/KURANG BAIK
R3	OR	IF Volume Sangat Kurang OR Waktu Sangat Singkat	THEN Kualitas RUSAK
R4	-	IF Volume Lebih (Bocor)	THEN Kualitas RUSAK

4.3 Fuzzy Logic Performance

Berdasarkan studi kasus dengan $T = 15s$ dan $Q = 44$ ml, hasil *defuzzification* menggunakan metode Centroid menghasilkan skor tegas 87,5 (Kategori Baik).

4.4 Hasil Pengujian Voltage Dengan Beban

Dashboard *web* ini dibangun menggunakan teknologi HTML5, CSS dan JavaScript yang disimpan secara langsung pada memori ESP32. Mekanisme kerja antarmuka ini dibagi menjadi dua proses utama yang pertama mikrokontroler ESP32 bertindak sebagai *web server* yang melayani permintaan HTTP dan mengirimkan data sensor melalui protokol *socket* untuk menghindari *delay*. *Browser* memproses data mentah dari ESP32 untuk divisualisasikan dalam bentuk angka, *progres bar*, dan label status kondisi dan riwayat pengujian.



Gambar 6. Antarmuka pengguna

4.5 Pengujian dan Analisis Hasil

Pengujian dilakukan terhadap 30 sampel data untuk memvalidasi ketepatan sistem. Hasil analisis dirangkum pada Tabel 2.

Tabel 2. Confusion Matrix

No	Kelas	True Positive (TP)	False Positive (FP)	False Negative (FN)
1	Baik	8	1	0
2	Kurang Baik	8	0	2
3	Rusak	12	1	0

Sistem berhasil mengidentifikasi 8 data secara tepat (*true positive*), meskipun terdapat 1 data yang salah dideteksi sebagai kondisi baik (*false positive*). Untuk kategori kurang baik, sistem juga mencatat 8 data yang sesuai, namun terdapat 2 data yang gagal terdeteksi oleh sistem atau masuk ke kategori lain (*false negative*).

Sementara itu, performa paling signifikan terlihat pada kategori rusak, Dimana sistem secara akurat mendiagnosa 12 data dengan hanya 1 kesalahan prediksi (*false positive*). Data metrik evaluasi ini menjadi basis penting untuk menghitung akurasi keseluruhan sistem.

Berdasarkan analisis *confusion matrix* terhadap 30 sampel data pengujian, dapat disimpulkan bahwa sistem klasifikasi injektor berbasis logika *fuzzy* mamdani ini memiliki performa klasifikasi yang sangat handal dengan nilai *F1-Score* mencapai 92,98 %. Tingkat presisi rata-rata sebesar 93,73% menunjukkan bahwa sistem memiliki ketepatan yang tinggi dalam memberikan label klasifikasi, terutama pada kategori "Kurang Baik" yang mencapai presisi sempurna (100%). Hal ini mengindikasikan bahwa setiap diagnosa "Kurang Baik" yang dikeluarkan oleh sistem sepenuhnya sesuai dengan kondisi faktual, sehingga meminimalkan risiko kesalahan penanganan oleh mekanik.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan pada klasifikasi sistem pengujian injektor otomastis pada mobil avanza berbasis logika *fuzzy* mamdani. Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem pengujian injektor yang mampu beroperasi secara otomatis. Sistem ini mengintegrasikan mikrokontroler ESP32, sensor berat HX711, dan pompa injektor yang dikendalikan melalui antar muka *web*. Pengujian menunjukkan bahwa metode logika *fuzzy* mamdani telah berhasil diterapkan kedalam sistem sebagai otak pengambilan keputusan. Dengan menggunakan variabel input berupa waktu dan volume.

Hasil analisis terhadap klasifikasi kondisi injektor menunjukkan bahwa sistem logika *fuzzy* mamdani memiliki performa yang sangat andal. Berdasarkan pengujian terhadap 30 sampel data, sistem mencapai tingkat *precision* 93,73 %, *recall* 93,33%, dan *f1-score* sebesar 92,98%. Analisis mendalam menunjukkan bahwa sistem mampu mengenali pola degradasi kinerja injektor yang bersifat *non-linier*. sistem ini terbukti efektif dan efisien dalam mengklasifikasikan kondisi injektor dibandingkan metode manual. Untuk pengembangan di masa depan, disarankan menambahkan variabel tekanan bahan bakar (*fuel pressure*) dan database penyimpanan untuk riwayat pengujian yang lebih komprehensif.

Referensi

- [1] R. Hidayat dan D. S. Putra, "Rancang Bangun Alat Uji Injektor Berbasis Mikrokontroler," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 15, no. 1, 2020.
 - [2] L. A. Zadeh, "Fuzzy sets," *Information and Control*, vol. 8, no. 3, pp. 338-353, 1965.
 - [3] E. Mamdani, "Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant," *Proc. Inst. Electr. Eng.*, vol. 121, no. 12, pp. 1585-1588, 1974.
 - [4] Yusuf dan Yasdin, "Analisis Desain Media Pembelajaran Alat Test Dan Pembersih Injektor Sepeda Motor," *Jurnal Vokasi*, 2023.
 - [5] Yanuar dkk., "Rancang Bangun Alat Uji Injektor Nozzle Spray Semi Otomatis," 2021.
 - [6] F. Tauhid dkk., "Penerapan Metode Fuzzy Mamdani untuk Rekomendasi Jumlah Produksi," *Jurnal Kecerdasan Buatan*, 2025.
 - [7] Kumar, S. R., Santhosh, S., Kumar, M. L., Aswin, V., & Gokul, B. (2022). Development of a fuel injector relative performance tester and cleaner. AIP Conference Proceedings, 2527(October). <https://doi.org/10.1063/5.0108109>
 - [8] Pranoto, A., & Purwanto, A. (2017). ANALISA KERUSAKAN DAN MODEL PERAWATAN INJEKTOR PADA SISTEM INJEKSI BAHAN BAKAR ELEKTRONIK. *Jurnal Teknik Mesin*, 3
 - [9] Puryono, D. A. (2014). Metode Fuzzy Inferensi System Mamdani Untuk Menentukan Bantuan Modal Usaha Bagi UMKM Ramah Lingkungan. *Jurnal STIMIKA*, 1(1), 1–6
 - [10] Fadhillah Tauhid, G., Wangni, W. A., Adinata, R. D., Dinargo, R., Muhammad Dwi Julian Saputra, & Abdul Rahman. (2025). Penerapan Metode Fuzzy Mamdani untuk Rekomendasi Jumlah Produksi pada Industri Makanan Ringan. *Jurnal Inovasi Komputer (INOKOM)*, 1(2), 56–65. <https://jurnal.citanusantara.id/index.php/inokom/article/view/34>
 - [11] Kusumah, H., & Pradana, R. A. (2019). Penerapan Trainer Interfacing Mikrokontroler Dan Internet of Things Berbasis Esp32 Pada Mata Kuliah Interfacing. *Journal CERITA*, 5(2), 120–134. <https://doi.org/10.33050/cerita.v5i2.237>
- Hartanto, S. (2017). Implementasi Fuzzy Rule Based System. *Techsi*, 9(2), 103– 117. <https://ojs.unimal.ac.id/index.php/techsi/article/view/217>