

Implementasi Metode Fuzzy Mamdani dalam Sistem Pendeteksi Kualitas Tanah pada Tanaman Kedelai

Paulina Febrina Siregar¹, Mochammad Hannats Hanafi Ichsan², Sabriansyah Rizqika Akbar³

Program Studi Teknik Komputer, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya
Email: ¹paulina@student.ub.ac.id, ²hanas.hanafi@ub.ac.id, ³sabrian@ub.ac.id

Abstrak

Kedelai merupakan salah satu kebutuhan bahan pokok yang sering digunakan oleh masyarakat Indonesia. Masyarakat Indonesia pada umumnya mengolah tanaman berbasis biji-bijian ini menjadi tahu, tempe, tauco, kecap, susu kedelai dan bentuk olahan lain untuk dikonsumsi. Ironisnya produksi tanaman kedelai di Indonesia masih rendah dan tak sebanding dengan angka permintaan di pasaran. Dari data kementerian Pertanian (Kementan), rata-rata produksi kedelai nasional selama periode 2015 - 2019 adalah 687.151 ton per tahun dengan rata-rata kapasitas secara geografis adalah 1,5 ton per hektar, angka ini sangat jauh bila dibandingkan dengan negara lain yang bisa memproduksi 2 – 3 ton per hektar. Permasalahan ini disebabkan oleh ketidakefisienan dalam mengelola budidaya kedelai di tengah kondisi lingkungan yang dinamis yang tidak mendukung kesuburan tanah tanaman kedelai. Untuk itu, dibuatlah sebuah sistem pendeteksi yang dapat menentukan kualitas tanah, sehingga dapat membantu para petani kedelai dalam melakukan penanaman dengan lebih optimal dan efektif. Pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Bhayangkara, A. (2020), di rancang sebuah sistem pendeteksi kualitas tanah tanaman kedelai dengan mengimplementasikan metode klasifikasi KNN. Pada penelitian tersebut, beliau memanfaatkan parameter kelembaban tanah dan pH tanah sebagai data input yang akan diproses oleh mikrokontroler untuk menghasilkan data berupa penentuan kualitas tanah yang baik, sedang, maupun buruk. Dengan menerapkan proses pengklasifikasian *K-Nearest Neighbor* (KNN), diperoleh tingkat akurasi paling tinggi yaitu 86,6%. Pada penelitian ini, penulis mengembangkan sistem yang sama yaitu sistem pendeteksi kualitas tanah pada tanaman kedelai dengan mengimplementasikan metode Fuzzy Mamdani guna untuk meningkatkan akurasi sehingga sistem dapat bekerja lebih optimal. Pendeteksian dilakukan dengan menggunakan sensor kelembaban tanah yang bersifat kapasitif (*Capacitive Soil Moisture Sensor*) dan sensor pH tanah (*Soil pH Sensor*). Kedua sensor ini ditancapkan ke dalam tanah untuk mengukur besar kelembaban dan juga pH tanah tersebut. Kedua data ini kemudian diproses oleh mikrokontroler Arduino Uno untuk melakukan proses klasifikasi dengan menggunakan logika Fuzzy Mamdani. Lalu nilai yang dibaca oleh kedua sensor serta hasil klasifikasi akan ditampilkan pada layar LCD 16x2. Pengujian sistem ini dilakukan sebanyak 30 kali percobaan dengan nilai kelembaban dan pH tanah yang beragam. Lewat pengujian ini didapatkan akurasi metode klasifikasi Fuzzy Mamdani sebesar 90% dengan perhitungan komputasi waktu (*Time Computation*) sebesar 2052,3 milisekon dan perhitungan penggunaan memory pada SRAM (*Memory Usage*) sebesar 590 bytes.

Kata kunci: Kedelai, Fuzzy Mamdani, komputasi waktu, SRAM, sensor Capacitive Soil Moisture, sensor pH

Abstract

Soybeans are one of the staple food ingredients commonly used by the Indonesian community. In general, the Indonesian population processes this grain-based plant into tofu, tempeh, tauco, soy sauce, soy milk, and other processed forms for consumption. Ironically, soybean production in Indonesia is still low and does not match the market demand. According to data from the Ministry of Agriculture (Kementan), the average national soybean production during the period of 2015-2019 was 687,151 tons per year, with an average geographical yield of 1.5 tons per hectare. This figure is significantly lower compared to other countries that can produce 2-3 tons per hectare. This problem is caused by inefficiency in managing soybean cultivation amidst a dynamic environmental condition that does not support soil fertility for soybean plants. Therefore, a detection system is developed to determine soil quality, aiming to assist soybean farmers in optimizing and improving planting efficiency. In a previous study conducted by Bhayangkara, A. (2020), a soil quality detection system for soybean plants was

designed by implementing the KNN method. In this study, soil moisture and soil pH parameters were utilized as input data processed by a microcontroller to generate data determining the quality of the soil as good, moderate, or bad. By applying the K-Nearest Neighbor (KNN) classification process, the highest accuracy level obtained was 86.6%. In this research, the author develops a similar system, namely a soil quality detection system for soybean plants, by implementing the Fuzzy Mamdani method to improve accuracy and optimize system performance. Detection is carried out using a capacitive soil moisture sensor and a soil pH sensor. Both sensors are inserted into the soil to measure the soil moisture level and pH. The data collected from these sensors are then processed by an Arduino Uno microcontroller to perform classification using Fuzzy Mamdani logic. The values read by the sensors and the classification results are displayed on a 16x2 LCD display. The system was tested 30 times using various soil moisture and pH values. Through these tests, the Fuzzy Mamdani classification method achieved an accuracy of 90%, with a computation time of 2052.3 milliseconds and a memory usage of 590 bytes in SRAM.

Keywords: Soybeans, Fuzzy Mamdani, Time Computation, SRAM, Capacitive Soil Moisture Sensor, pH Sensor

1. PENDAHULUAN

Kedelai merupakan salah satu bahan pokok yang sering dikonsumsi oleh masyarakat Indonesia dalam pemenuhan kebutuhan nutrisi, protein dan juga vitamin. Selain itu kedelai juga dapat diolah kembali ke berbagai jenis makanan, seperti: tahu, tempe, tape, oncom, susu kedelai, kecap, tauco, dan berbagai bentuk olahan lainnya (Salman & Rahma, 2018). Namun dalam beberapa tahun terakhir Indonesia mengalami krisis kedelai, yang disebabkan oleh rendahnya tingkat produktivitas tanaman kedelai di Indonesia (Agungnoe, 2022). Berdasarkan data kementerian Pertanian (Kementan), rata-rata produksi kedelai nasional selama periode 2015 - 2019 adalah 687.151 ton per tahun dengan rata-rata kapasitas secara geografis adalah 1,5 ton per hektar. Angka ini tidak sebanding dengan jumlah permintaan kedelai yang ada di pasaran. Salah satu faktor yang menyebabkan rendahnya produktivitas tanaman kedelai tersebut adalah kurang optimalnya teknologi budidaya dalam pengendalian kualitas lahan tanaman kedelai, sebab kesuburan lahan tanaman adalah salah satu faktor yang penting dalam pertumbuhan dan hasil panen tanaman kedelai.

Dalam upaya meningkatkan produktivitas tersebut dibuatlah sebuah alat yang dapat mendeteksi kualitas tanah menggunakan parameter-parameter yang menjadi indikator kesuburan lahan tersebut. Indikator-indikator kesuburan tanah pada lahan tanaman kedelai antara lain: kelembaban tanah, kelembaban udara, kadar unsur hara, derajat keasaman tanah (pH), kandungan bahan organik dan lain sebagainya (Indmira, 2021). Pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Bhayangkara, A.

(2020), di rancang sebuah sistem pendeteksi kualitas tanah tanaman kedelai dengan mengimplementasikan metode *K-Nearest Neighbor* (KNN). Pada penelitian tersebut, beliau memakai indikator kesuburan tanah dan pH tanah sebagai parameter. Namun kinerja dari sistem yang sudah dibuat dinilai masih dapat lebih ditingkatkan lagi, dimana nilai akurasi yang didapatkan adalah sebesar 86,6%. Dengan tujuan untuk mengoptimalkan kinerja alat tersebut, maka pada penelitian ini penulis akan mengimplementasikan metode *Fuzzy Mamdani* pada sistem deteksi kualitas tanah pada tanaman kedelai menggunakan Arduino Uno. Alasan menggunakan metode ini adalah logika Fuzzy Mamdani merupakan metode yang paling mudah dipahami karena memiliki kemampuan penalaran yang mirip dengan penalaran manusia, sebab metode inferensi ini dapat menerjemahkan pengetahuan dari para pakar dalam bentuk *rules*.

Dalam penelitian ini, penulis menggunakan indikator yang sama yaitu kelembaban tanah dan pH tanah sebagai parameter masukan pada sistem. PH tanah merupakan tingkat keasaman tanah atau kealkalian tanah yang mempengaruhi tersedia atau tidaknya unsur hara pada tanah. Derajat keasaman (pH) tanah yang ideal untuk penanaman kedelai adalah sekitar 5,8 – 7,0 (Ngawikab, 2022). Kelembapan tanah merujuk pada tingkat air yang terkandung dalam tanah. Kelembapan tanah yang ideal untuk tanaman kedelai adalah 60% - 70% (Firmansyah et al, 2017). Kedua data tersebut akan diambil menggunakan sensor kelembaban tanah yang bersifat kapasitif (*Capacitive Soil Moisture Sensor*) dan sensor pH tanah. Nilai-nilai tersebut kemudian akan diproses lewat pengklasifikasian menggunakan metode Fuzzy Mamdani yang

akan melalui tahap fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi untuk menentukan kelas outputnya apakah masuk ke kelas baik, sedang atau buruk. Kemudian hasil klasifikasi ini akan ditampilkan melalui LCD agar mempermudah petani dalam memperoleh informasi tentang pH tanah, kelembapan tanah, dan kualitas tanah.

Untuk mengukur kinerja metode fuzzy mamdani pada sistem ini, maka di akhir penelitian akan dilakukan perhitungan akurasi klasifikasi dengan melakukan 30 percobaan terhadap tanah yang berbeda dan membandingkan hasilnya dengan data aktual yang bersumber dari Balai Penelitian Aneka Kacang dan Umbi atau BALITKABI (2020). Selain itu tingkat efektifitas dan efisiensi metode klasifikasi fuzzy mamdani juga dihitung dengan mencari nilai komputasi waktu (*time computation*) dan penggunaan memori (*memory usage*).

2. METODE PENELITIAN

2.1 Gambaran Umum Sistem

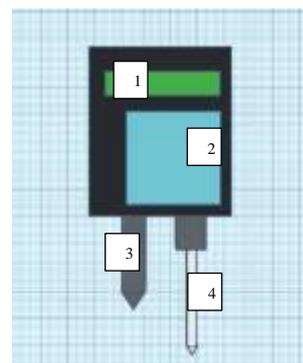
Sistem ini diimplementasikan dalam sebuah alat yang terdiri dari dua sensor yang akan mengambil data berupa kelembapan dan derajat keasaman (pH) dari tanah lahan tanaman kedelai. Sensor yang digunakan untuk mengambil data kelembapan tanah adalah Capacitive Soil Moist Sensor dengan tipe SEN0193, sedangkan sensor yang digunakan untuk mengambil data derajat keasaman (pH) tanah adalah Sensor pH tanah. Data yang diterima oleh sensor kemudian diproses oleh mikrokontroler (Arduino Uno) menggunakan metode perhitungan Fuzzy Mamdani. Output dari sistem ini akan ditampilkan di sebuah LCD 16x2 yang terhubung ke Arduino. Informasi yang ditampilkan LCD adalah nilai hasil pengukuran kelembapan tanah, nilai hasil pengukuran pH tanah dan kualitas tanah. Informasi inilah yang akan membantu para petani kedelai dalam memantau kualitas tanah guna mengoptimalkan produksi tanaman kedelai.

Gambar 1 Gambaran Umum Sistem



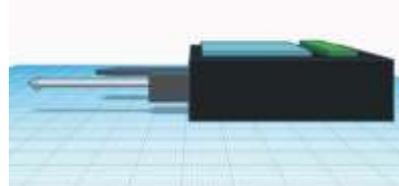
2.2 Perancangan Prototype

Dalam tahap perancangan prototype sistem, penulis merancang sebuah desain hardware sistem di mana semua perangkat akan ditempatkan dalam sebuah kotak proyek yang terbuat dari plastik dengan ukuran 15 cm panjang, 10 cm lebar, dan 5 cm tinggi. Perancangan desain sistem ini dilakukan melalui platform website tinkercad.com, yang dapat dilihat dalam Gambar 2a dan Gambar 2b. Informasi mengenai komponen-komponen yang digunakan dapat ditemukan pada Tabel 5.1 di



bawah ini.

a. Tampak Atas



b. Tampak Bawah

Gambar 2. Desain Prototype Alat

Tabel 1 Keterangan Gambar Prototype

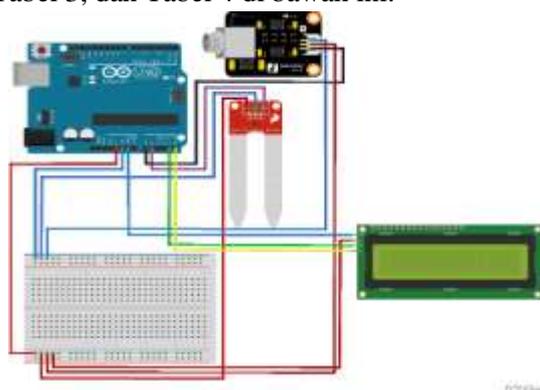
No	Keterangan
1	LCD 16x2
2	Arduino Uno
3	Sensor Capacitive Soil Moist
4	Sensor pH tanah

Gambar 2a menampilkan desain prototype sistem yang menggambarkan pandangan dari atas dan Gambar 2b menampilkan desain prototype yang tampak dari samping komponen-komponen yang terdapat di dalamnya. Pada angka satu (1), terdapat LCD 16x2 yang LCD 16x2 ini diletakkan di bagian depan perangkat dan menghadap keluar, sehingga mudah terlihat tanpa perlu membuka bagian dalam perangkat. LCD ini berperan dalam menampilkan hasil klasifikasi kualitas tanah dari sistem pendeteksi kualitas tanah tanaman kedelai. Arduino Uno, yang ditunjukkan dengan angka dua (2) pada Gambar 2a, ditempatkan di dalam perangkat. Hal ini dikarenakan Arduino Uno berfungsi

sebagai otak atau pengolah data dalam sistem pendeteksi kualitas tanah tanaman kedelai dengan menggunakan algoritma Fuzzy Mamdani. Semua komponen di dalam sistem ini akan terhubung dengan Arduino Uno dengan menyambungkan pin-pinnya. Gambar 2a juga menampilkan dua sensor yang ditunjukkan dengan angka tiga (3) dan empat (4). Sensor pertama adalah sensor pH tanah, sedangkan sensor kedua adalah sensor kelembapan tanah (*capacitive soil moist*). Penempatan kedua sensor tersebut sama dengan penempatan LCD 16x2, yaitu diletakkan sejajar di luar perangkat. Kedua sensor ini ditempatkan di bagian bawah perangkat dan akan ditancapkan ke dalam tanah di tempat tumbuhnya tanaman kedelai.

2.3 Perancangan Perangkat Keras

Perangkat keras digambarkan sesuai dengan perancangan pada skematik alat yang dirancang terlebih dahulu menggunakan software fritzing. Adapun tujuan perancangan perangkat keras ini adalah membuat sistem dapat berjalan sesuai keinginan dengan menghubungkan komponen-komponennya, beserta pin mana saja yang harus dihubungkan agar sistem dapat bekerja. Komponen-komponen tersebut antara lain: Arduino uno, sensor *capacitive soil-moisture*, sensor pH tanah, dan LCD 16x2 dengan modul I2C. Adapun skematik perangkat keras untuk sistem deteksi kualitas tanah pada tanaman kedelai ini digambarkan pada Gambar 3 dengan keterangan mengenai pin-pin pada Tabel 2, Tabel 3, dan Tabel 4 di bawah ini.



Gambar 3. Skematik Perangkat Keras

Tabel 2. Koneksi Pin Arduino Uno dengan Sensor pH Tanah

Arduino Uno	Sensor pH Tanah
GND	GND
Pin A0	Data (Output)

Tabel 3. Koneksi Pin Arduino Uno dengan Sensor

Arduino Uno	Sensor <i>Capacitive Soil Moist</i>
GND	GND
VCC (5V)	VCC
Pin A1	Data (Output)

Tabel 4. Koneksi Pin Arduino Uno dengan LCD 16x2 I2C

Arduino Uno	LCD 16x2 dengan I2C
GND	GND
VCC (5V)	VCC
Pin A4	SDA
Pin A5	SLC

2.4 Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak digambarkan dengan diagram alir utama dari sistem seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4 di bawah ini:



Gambar 4. Diagram Alir Utama Sistem

Perancangan perangkat lunak dimulai dengan menginisialisasi penggunaan library tambahan, mode pin-pin sensor dan juga aktuator, serta variabel yang akan diperlukan. Kemudian dilanjutkan dengan pengambilan data kelembapan tanah dan pH tanah lewat pembacaan kedua sensor yang akan digunakan sebagai inputan. Nilai yang diterima kedua sensor ini merupakan nilai analog yaitu berskala 0 sampai 1023. Agar nilai pengukuran dapat dipahami, nilai analog sensor ini harus dikalibrasi terlebih dahulu agar informasi nilai

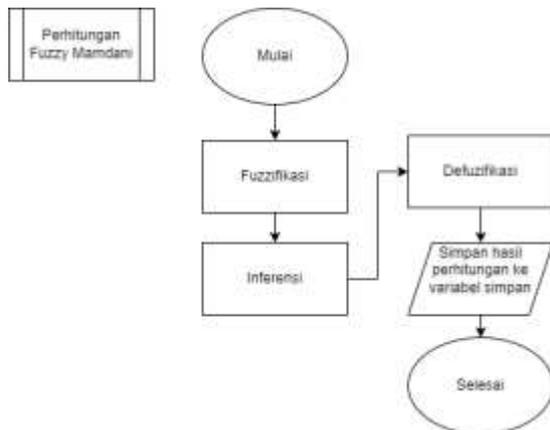
kelembaban tanah dalam bentuk persentase dan nilai pH tanah dalam skala 0 – 14. Pengkonversian data analog kelembaban tanah dilakukan dengan fungsi pemetaan nilai terendah dan tertinggi ke nilai maksimum persentase, atau dengan persamaan (1) di bawah ini:

$$\%p = \text{map}(\text{sensorMoisture}, 210, 510, 100, 0) \quad (1)$$

Sedangkan pengkonversian data analog pH tanah dilakukan dengan persamaan (2) berikut:

$$pH = -0.0693 * \text{sensorpH} + 7.3855 \quad (2)$$

Setelah pembacaan sensor dilakukan proses klasifikasi dengan perhitungan logika Fuzzy Mamdani. Metode fuzzy terdapat tiga tahapan yang harus dilalui untuk dapat menghasilkan sebuah output, yaitu: fuzzifikasi, inferensi dan defuzzifikasi atau digambarkan pada diagram alir pada Gambar 5 berikut:

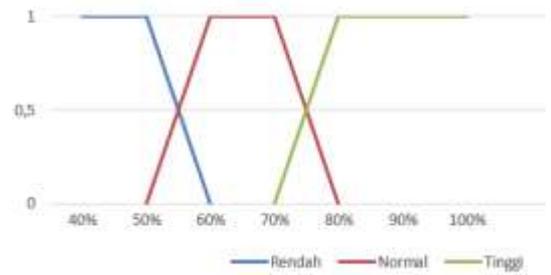


Gambar 5. Diagram Alir Metode Klasifikasi Fuzzy Mamdani

1) Fuzzifikasi

Fuzzifikasi merupakan tahap di mana input sistem dengan nilai tegas (crisp) diubah menjadi variabel linguistik menggunakan fungsi keanggotaan yang tersimpan dalam basis pengetahuan fuzzy, dimana fungsi keanggotaan tersebut dibentuk berdasarkan sumber literatur ataupun riset yang dilakukan oleh para ahli/pakar. Pada sistem ini 2 parameter yang akan menjadi variabel fuzzy, yaitu kelembaban tanah dan pH tanah, nantinya akan dibagi menjadi 3 himpunan fuzzy, yaitu: himpunan “rendah”, “normal”, dan “tinggi”. Berikut adalah fungsi keanggotaan dari masing-masing variabel fuzzy:

- Variabel kelembaban tanah
Berikut pada Gambar 5.6 digambarkan fungsi keanggotaan kelembaban tanah

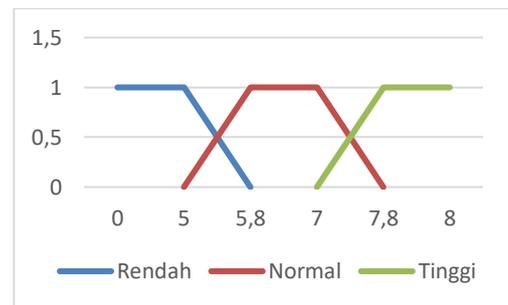


Gambar 6. Fungsi Keanggotaan Kelembaban Tanah

$$\begin{aligned} \text{Rendah}(x) &= \begin{cases} 0; & x \geq 60\% \\ \frac{60-x}{60-50}; & 50 < x < 60\% \\ 1; & x \leq 50\% \end{cases} \\ \text{Normal}(x) &= \begin{cases} 0; & x \leq 50\% \text{ atau } x \geq 80 \\ \frac{x-50}{60-50}; & 50\% < x < 60\% \\ 1; & 60\% \leq x \leq 70\% \\ \frac{80-x}{80-70}; & 70\% < x < 80\% \end{cases} \\ \text{Tinggi}(x) &= \begin{cases} 0; & x \leq 70\% \\ \frac{x-70}{80-70}; & 70\% < x < 80\% \\ 1; & x \geq 80\% \end{cases} \end{aligned} \quad (3)$$

• Variabel pH Tanah

Berikut pada Gambar 5.7 digambarkan fungsi keanggotaan pH tanah:



Gambar 7. Fungsi Keanggotaan pH Tanah

$$\begin{aligned} \text{Rendah}(x) &= \begin{cases} 0; & x \geq 5,8 \\ \frac{5,8-x}{5,8-5,0}; & 5,0 < x < 5,8 \\ 1, & x \leq 5,0 \end{cases} \\ \text{Normal}(x) &= \begin{cases} 0; & x \leq 5,0 \text{ atau } x \geq 7,8 \\ \frac{x-5,0}{5,8-5,0}; & 5,0 < x < 5,8 \\ 1; & 5,8 \leq x \leq 7 \\ \frac{7,8-x}{7,8-7}; & 7,0 < x < 7,8 \end{cases} \\ \text{Tinggi}(x) &= \begin{cases} 0; & x \leq 7,0 \\ \frac{x-7}{7,8-7}; & 7,0 < x < 7,8 \\ 1; & x \geq 7,8 \end{cases} \end{aligned} \quad (4)$$

2) Inferensi

Setelah memperoleh derajat keanggotaan dari masing-masing variabel, tahap selanjutnya yang dilakukan adalah inferensi. Inferensi dilakukan dengan menentukan fungsi implikasi untuk mendapatkan nilai α -predikat di setiap

rule dengan aturan MIN. Rules dari sistem ini dapat dilihat pada Tabel 5 berikut ini:

Tabel 5. Rules/ Aturan Fuzzy

Rules	Kelembaban	pH	Kualitas
1	Rendah	Rendah	Buruk
2	Rendah	Normal	Sedang
3	Rendah	Tinggi	Buruk
4	Normal	Rendah	Sedang
5	Normal	Normal	Baik
6	Normal	Tinggi	Sedang
7	Tinggi	Rendah	Buruk
8	Tinggi	Normal	Sedang
9	Tinggi	Tinggi	Buruk

Setelah mendapatkan nilai α -predikat dari setiap rule, diterapkan komposisi aturan dengan menggunakan metode MAX di setiap himpunan output kualitas.

3). Defuzzifikasi

Hasil komposisi akan menghasilkan modifikasi daerah fuzzy dan fungsi keanggotaan yang baru, sehingga dilanjutkan dengan tahap defuzzifikasi. Defuzzifikasi adalah proses mengubah himpunan fuzzy output menjadi nilai crisp. Pada defuzzifikasi di penelitian ini, penulis menggunakan metode *centroid* disimbolkan dengan z^* , yaitu dengan mengambil titik pusat dari daerah fuzzy dengan menggunakan rumus berikut:

$$z^* = \frac{\sum_{j=1}^n z_j \cdot \mu(z_j)}{\sum_{j=1}^n \mu(z_j)} \quad (5)$$

Selain melakukan perhitungan fuzzy mamdani, dilakukan pula perhitungan waktu komputasi serta penggunaan memori. Perhitungan waktu komputasi ini dilakukan dengan cara menghitung selisih waktu akhir setelah proses klasifikasi dengan waktu awal sebelum memulai proses klasifikasi. Pencatatan waktu pada pemrograman Arduino dilakukan dengan fungsi `millis()`. Sedangkan perhitungan penggunaan memory dilakukan dengan menghitung selisih kapasitas SRAM Arduino uno dengan kapasitas SRAM yang tersisa setelah program dijalankan. Kemudian seluruh hasil perhitungan yang terdiri dari hasil klasifikasi, waktu komputasi dan penggunaan memori akan ditampilkan pada LCD 16x2 dan serial monitor.

2.6 Implementasi Sistem

Implementasi dari sistem ini dilakukan dengan merangkai *prototype* alat seperti yang sudah dirancang sebelumnya dan menyambungkan pin-pin seluruh komponen ke Arduino uno. Kemudian keseluruhan program di-*upload* pada port yang sesuai, dan dijalankan.

Berikut pada Gambar 5.8 *prototype* alat yang sudah dirangkai di dalam *project box*.



Gambar 8. Implementasi Prototype Sistem

3. PENGUJIAN DAN ANALISIS

3.1. Pengujian Metode Klasifikasi Fuzzy Mamdani

Pengujian metode Fuzzy mamdani dilakukan dengan menancapkan kedua sensor pada tanah yang akan diuji. Dalam pengujian ini, digunakan 30 data uji untuk mengamati tingkat akurasi metode klasifikasi. Kemudian dilakukan analisis dengan cara membandingkan data aktual dengan output yang didapatkan oleh sistem. Berikut hasil pengujian beserta analisis yang telah dilakukan:

Tabel 6. Pengujian Klasifikasi Metode Fuzzy Mamdani

Sensor pH tanah	Sensor Capacitive Soil Moist (%)	Kelas Aktual	Hasil Klasifikasi	Kesesuaian
6.50	73.00	Baik	Baik	Sesuai
7.50	67.4	Baik	Baik	Sesuai
6.80	63.50	Baik	Baik	Sesuai
6.74	75.11	Baik	Sedang	Tidak sesuai
7.01	73.1	Baik	Baik	Sesuai
7.19	66.42	Baik	Baik	Sesuai
6.23	76.5	Baik	Sedang	Tidak sesuai
5.91	70.21	Baik	Baik	Sesuai
7.34	67.51	Baik	Baik	Sesuai
6.98	61.4	Baik	Baik	Sesuai
7.02	62.01	Baik	Baik	Sesuai
6.25	61.11	Baik	Baik	Sesuai
6.81	73.2	Baik	Baik	Sesuai
6.01	51.34	Sedang	Sedang	Sesuai
7.21	82.1	Sedang	Sedang	Sesuai
8.13	75.01	Sedang	Sedang	Sesuai
5.13	67.96	Sedang	Sedang	Sesuai
4.93	65.99	Sedang	Sedang	Sesuai
5.42	68.01	Sedang	Sedang	Sesuai
8.37	76.05	Sedang	Sedang	Sesuai
5.34	66.31	Sedang	Sedang	Sesuai

4.9	71.97	Sedang	Sedang	Sesuai
5.1	69.01	Buruk	Buruk	Sesuai
8.21	83.01	Buruk	Buruk	Sesuai
3.11	80.72	Buruk	Buruk	Sesuai
4.85	46.7	Buruk	Buruk	Sesuai
4.11	45.1	Buruk	Buruk	Sesuai
3.98	83.33	Buruk	Buruk	Sesuai
8.01	39.99	Buruk	Sedang	Tidak sesuai
4.02	70.04			

Setelah melakukan analisis terhadap percobaan yang telah dilakukan sebanyak 30 kali, terdapat 27 data yang sesuai dan 3 data yang tidak sesuai dengan kelas aktual. Sehingga dapat dihitung tingkat akurasi dari metode klasifikasi Fuzzy mamdani dengan perhitungan berikut:

$$Akurasi = \frac{30 - 3}{30} \times 100$$

$$Akurasi = 90\%$$

Dari perhitungan yang telah dilakukan maka didapatkan tingkat akurasi dari metode klasifikasi Fuzzy mamdani yaitu sebesar 90%.

3.2. Pengujian Waktu Komputasi

Pengujian waktu komputasi ini bertujuan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan dalam melakukan running-program. Untuk menghitung waktu komputasi tersebut, kita dapat menggunakan fungsi Millis pada Arduino IDE. Pada penelitian ini pengujian waktu komputasi yang dilakukan adalah waktu klasifikasi, sehingga fungsi Millis dipanggil pada saat sebelum klasifikasi fuzzy mamdani dijalankan dan setelah klasifikasi fuzzy mamdani dijalankan, kemudian untuk mengetahui nilai waktu komputasi, kita mengurangi waktu setelah klasifikasi dengan waktu sebelum klasifikasi.

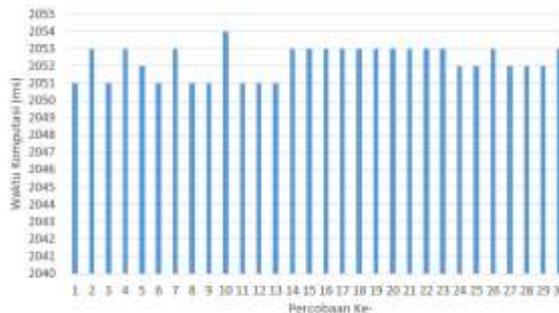
Hasil dari pengujian waktu komputasi dapat dilihat pada Tabel 7 berikut.

Tabel 7. Pengujian Waktu Komputasi

Pengujian ke-n	Waktu Komputasi (ms)
1	2051
2	2053
3	2051
4	2053
5	2052
6	2051
7	2053
8	2051
9	2051
10	2054
11	2051
12	2051
13	2051
14	2053
15	2053

16	2053
17	2053
18	2053
19	2053
20	2053
21	2053
22	2053
23	2053
24	2052
26	2053
27	2052
28	2052
29	2052
30	2052
Rata-rata	2052,3

Bentuk hasil visualisasi dari waktu komputasi ini dapat dilihat dengan grafik pada Gambar 6.1 di bawah ini.



Gambar 9. Grafik Waktu Komputasi

3.3. Pengujian Penggunaan Memori (SRAM)

Pengujian penggunaan SRAM bertujuan untuk mengetahui efisiensi logika fuzzy mamdani dalam penggunaan SRAM pada mikrokontroler Arduino Uno. Semakin kecil jumlah SRAM yang digunakan, maka semakin tinggi efisiensi algoritma dalam pemakaian memori. Menghitung penggunaan SRAM dilakukan dengan mengurangi kapasitas SRAM Arduino Uno (2048 bytes) dengan jumlah memori yang tersisa.

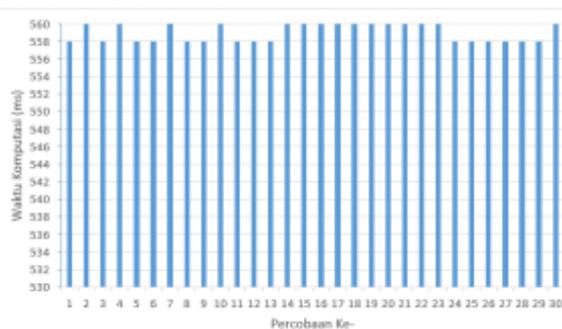
Hasil dari pengujian penggunaan memori dapat dilihat pada Tabel 8 berikut.

Tabel 8. Pengujian Penggunaan Memori

Pengujian ke-n	Penggunaan SRAM (byte)
1	558
2	560
3	558
4	560
5	558
6	558
7	560
8	558
9	558
10	560
11	558

12	558
13	558
14	560
15	560
16	560
17	560
18	560
19	560
20	560
21	560
22	560
23	560
24	558
26	558
27	558
28	558
29	558
30	560
Rata-rata	590

Bentuk hasil visualisasi dari penggunaan memori ini dapat dilihat dengan grafik pada Gambar 10 di bawah ini.



Gambar 10. Grafik Pengujian Penggunaan Memori

4. PENUTUP

Berdasarkan perancangan sistem, serta pengujian dan analisis dari penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa metode klasifikasi Fuzzy Mamdani bekerja lebih baik dari pada metode *K-Nearest Neighbor* (K-NN), dimana metode Fuzzy Mamdani memiliki akurasi sebesar 90% sedangkan metode *K-Nearest Neighbor* (K-NN) yang memiliki akurasi tertinggi sebesar 86,6% ketika kedua metode diimplementasikan pada sistem deteksi kualitas tanah. Selain itu metode Fuzzy mamdani juga memiliki tingkat efektifitas dan efisiensi yang tinggi untuk diterapkan pada sistem. Efektifitas ini terlihat dari rata-rata besar waktu komputasi ketika dijalankan yaitu sebesar 2052,3 milisekon. Waktu komputasi yang tergolong rendah ini menandakan bahwa metode klasifikasi Fuzzy Mamdani tidak memakan waktu yang cukup panjang saat programnya dijalankan. Efisiensi terlihat pula dari rata-rata penggunaan SRAM pada sistem deteksi kualitas

tanah tanaman kedelai dengan metode klasifikasi fuzzy mamdani ini adalah sebesar 590 bytes, yang artinya tingkat efisiensi dalam penggunaan SRAM sudah baik, dikarenakan masih terdapat banyak sisa kapasitas SRAM pada Arduino Uno.

Saran yang sekiranya membantu untuk penelitian masa depan guna mengembangkan sistem yang telah dibangun agar dapat meningkatkan kinerjanya. Sebaiknya menambahkan himpunan fuzzy di setiap kelas untuk variabel input dan output dan memperkecil batas-batas fungsi keanggotaan, agar setiap informasi atau pengetahuan terkait penentuan batas nilai linguistik tidak salah dalam penerjemahannya, sehingga memperkecil ketidaksesuaian kelas variabel output.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Bhayangkara, A., 2020. Sistem Pendeteksi Kualitas Tanah Tanaman Kedelai Menggunakan Metode K-Nearest Neighbor (K-NN) dengan Arduino Uno. [Online] Tersedia di : <<https://j-ptiik.ub.ac.id/index.php/j-ptiik/article/view/7691/3631>> [Diakses 8 February 2023]
- Ansyah, A. 2019., Implementasi Metode Fuzzy Inference System Mamdani untuk Pengendali Otomatis Kualitas Air Budidaya Lobster Air Tawar Redclaw Menggunakan Teknologi Internet of Things. S1. Universitas Jember. Tersedia di <<https://andalusiabatam.sch.id>> [Diakses 8 Februari 2023]
- Pezol, N., Adnan, R., dan Tajjudin, M., 2020. Design of An Internet of Things (IoT) Based Smary Irrigation and Fertilization System Using Fuzzy Logic for Chili Plant. [Online] Tersedia di : <<https://ieeexplore.ieee.org/iel7/9137508/9140068/09140199.pdf>> [Diakses 8 Februari 2023]
- Daniel, R., 2022. Rancang Bangun Alat Monitoring Kelembapan, PH Tanah dan Pompa Otomatis Berbasis Arduino. [Online] Tersedia di : <<https://journal.isas.or.id/index.php/JAC-OST/article/view/384/158>> [Diakses 08 February 2023]
- Selvachandran, G., et al., 2021. A New Design of Mamdani Complex Fuzzy Inference System for Multiattribute Decision Making Problems. IEEE Transactions on

- Fuzzy System. [Online] Tersedia di: <<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8937744>> [Diakses 15 Maret 2023]
- Singh, G., 2020. Machine Learning based on Soil Moisture Prediction for Internet of Things based Smart Irrigation System. International Conference on Signal Processing, Computing and Control (ISPPCC). Tersedia di : <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8988313>> [Diakses 15 Maret 2023]
- Scheberl, L., et al., 2019. Evaluation of Soil pH and Soil Moisture with Different Field Sensors: Case Study Urban Soil. [Online] Tersedia di <<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.01.001>> [Diakses 16 Maret 2023]
- Kusumadewi, S., dan Purnomo, I., 2013. Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan. Edisi: 2, Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Cruz, D., et al., 2020. Effects of Soil Conditions on Root Rot of Soybean Caused by *Fusarium graminearum*. APS Publications. Tersedia di : <<https://doi.org/10.1094/PHYTO-02-20-0052-R>> [Diakses 11 April 2023]
- Musa, P., Sugeru, H., dan Mufza, H., 2019. An intelligent applied Fuzzy Logic to prediction the Parts per Million (PPM) as hydroponic nutrition on the based Internet of Things (IoT). Fourth International Conference on Informatics and Computing (ICIC). Tersedia di : <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8985712> [Diakses 11 April 2023]
- Kacimi, M., et al, 2019. New mixed-coding PSO algorithm for a self-adaptive and automatic learning of Mamdani fuzzy rules. [Online] Tersedia di : <<https://doi.org/10.1016/j.engappai.2019.103417>> [Diakses 11 April 2023]