

Level Kualitas Air Nutrisi pada Hidroponik Berdasarkan Sistem Klasifikasi Fuzzy

Nutrient Water Quality Levels in Hydroponics Based on The Fuzzy Classification System

Utari Sanaba¹, Rika Rokhana², Setiawardhana³

^{1,2}Departemen Teknik Elektro, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

³Departemen Teknik Informatika dan Komputer, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

E-mail: ¹utari.sanaba99@gmail.com, ²rika@pens.ac.id, ³setia@pens.ac.id

Abstrak

Tingginya jumlah penduduk telah menyebabkan perubahan lahan pertanian menjadi lahan non-pertanian. Solusi inovatif untuk mengatasi keterbatasan lahan yaitu *urban agriculture*, khususnya hidroponik. Namun, kondisi nutrisi pada air hidroponik sering kali dalam kondisi buruk sehingga perlu dimonitoring dan dideteksi tingkat kualitasnya untuk menjaga kondisi air nutrisi dalam bak hidroponik dalam keadaan baik. Kondisi air nutrisi yang baik akan mengoptimalkan proses penyerapan akar dan pertumbuhan tanaman. Parameter kualitas air nutrisi dapat dideteksi melalui suhu air nutrisi, kadar TDS (*Total Dissolved Solids*) di dalam nutrisi, dan tingkat keasamaan atau pH dari air nutrisi di dalam bak hidroponik. Metode *fuzzy logic classification* memungkinkan dalam mengolah kondisi aktual nutrisi dari ketiga parameter tersebut menjadi sebuah keputusan level kualitas air nutrisi tanaman dalam kondisi baik, sedang, buruk, ataupun sangat buruk. Penelitian ini menggunakan sensor suhu air, TDS, dan pH dalam pengukuran masing-masing parameter yang kemudian ditampilkan pada *website*. Hasil pengukuran parameter nutrisi mencapai error rendah yaitu $\pm 5\%$. Hasil klasifikasi kualitas dari kondisi air nutrisi tanaman yang diputuskan dengan *fuzzy logic* sudah sesuai dengan yang diinginkan oleh petani dan berhasil 100% ditampilkan pada *website* pengguna. Sistem ini memudahkan pengguna dalam memantau, mengevaluasi, dan meningkatkan kondisi dan kualitas nutrisi tanaman dari jarak jauh.

Kata kunci: Hidroponik, suhu, TDS, pH, *Fuzzy Logic*

Abstract

The high population density has led to the conversion of agricultural land into non-agricultural land. Innovative solutions to address land limitations such as urban agriculture, particularly hydroponics, have emerged. However, the nutritional condition of hydroponic water is often poor, necessitating monitoring and detection of its quality levels to maintain optimal conditions in the nutrient solution. Good nutrient water conditions will optimize root absorption processes and plant growth. Parameters for water nutrient quality can be detected through water temperature, Total Dissolved Solids (TDS) content in the nutrient solution, and pH level of the nutrient solution in the hydroponic reservoir. The fuzzy logic classification method enables the processing of actual nutrient conditions from these three parameters into a decision on the quality level of plant nutrient water, whether it's good, fair, poor, or very poor. This research utilizes water temperature, TDS, and pH sensors to measure each parameter, which are then displayed on a website. The measurement results of nutrient parameters achieve low errors of around $\pm 5\%$, and the classification results of the quality of plant nutrient water decided by fuzzy logic align with the farmers' desires and are successfully displayed on the user's website 100% of the time. This system facilitates users in monitoring, evaluating, and improving the condition and quality of plant nutrients remotely.

Keywords: *Hydroponic, temperature, TDS, pH, Fuzzy Logic*

1. PENDAHULUAN

Tanah merupakan media utama dan terpenting di bidang pertanian. Pertanian memainkan peran penting dalam perekonomian dan pemenuhan kebutuhan pokok masyarakat di negara agraris seperti Indonesia dengan pertumbuhan populasi yang terus meningkat sehingga

mengakibatkan peningkatan kebutuhan akan pangan [1]. Berdasarkan data sensus penduduk BPS yang dilaksanakan pada September 2020, jumlah penduduk Indonesia mencapai 270,20 juta jiwa, dengan kepadatan penduduk Indonesia mencapai 141 jiwa per Km² [2]. Tingginya populasi penduduk Indonesia ini menyebabkan lahan pertanian terus berkonversi menjadi lahan non-pertanian [3]. Selain itu, data dari Bappenas menyebutkan bahwa pada tahun 2050 penduduk dunia dengan jumlah populasi 6,5 miliar orang atau 2/3 dari total penduduk akan tinggal di wilayah perkotaan yang akan menyebabkan lahan pertanian di perkotaan akan semakin berkurang [4].

Pertanian berperan penting dalam pengembangan dan perbaikan perekonomian bangsa. Hal ini juga memberikan dampak positif yaitu peluang usaha yang terus meningkat bagi masyarakat umum. Tragisnya, banyak petani yang terus menerus menggunakan metode budidaya konvensional yang sangat bergantung pada luas lahan pertanian yang menyebabkan hasil panen yang rendah dan kurang optimal [5]. Seiring berjalannya waktu, media tanam tanah akan mengalami degradasi yang ditandai dengan penurunan kualitas tanah akibat erosi, penipisan sumber karbon organik tanah, dan ketidakseimbangan unsur hara di dalam tanah yang dapat menyebabkan penurunan hasil produksi pertanian [6]. Oleh karena itu, diperlukan solusi inovatif seperti penggunaan metode tanam tanpa tanah seperti *urban agriculture*. Metode *urban agriculture* yang dapat diimplementasikan yaitu *vertical farming*, *hydroponics*, *aeroponics*, dan *digeponics* [7]. Dari ketiga teknik penanaman tersebut, hidroponik atau *hydroculture* adalah metode pertanian urban yang paling diminati di Indonesia karena mudah digunakan oleh pemula untuk menanam sayuran seperti bayam, selada, sawi, pakcoy, dan lainnya.

Dalam hidroponik, pupuk diberikan sebagai ion dalam larutan nutrisi untuk mendukung pertumbuhan tanaman. Formulasi unsur hara mikro dan makro telah dikembangkan untuk meningkatkan pertumbuhan dan penyerapan nutrisi tanaman. Sementara konsentrasi larutan nutrisi yang tinggi menyebabkan stres osmotik dan toksisitas ion sedangkan konsentrasi yang rendah dapat menghambat pertumbuhan tanaman sehingga tanaman yang dihasilkan menjadi kurang optimal [8]. Kualitas kondisi nutrisi hidroponik dapat dilihat dari beberapa parameter seperti pH, *Total Dissolved Solids* (TDS), dan suhu air nutrisi [5]. Faktor-faktor lingkungan seperti pH, TDS, dan suhu nutrisi memainkan peran sentral dalam menentukan ketersediaan nutrisi bagi tanaman, penyerapan unsur-unsur oleh akar, dan aktivitas mikroorganisme dalam larutan nutrisi. Konsentrasi pH yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat menyebabkan biomassa tanaman yang dihasilkan dengan media tanam hidroponik menjadi lebih ringan dan dapat menyebabkan akar membusuk sehingga memunculkan patogen di dalam nutrisi yang menghambat pertumbuhan tanaman [9] [10]. Nilai TDS mengacu pada mineral, logam, garam, dan ion atau total kadar unsur hara yang terkandung di dalam air yang perlu diperhatikan untuk menghasilkan tanaman yang berkecukupan nutrisi [11]. Suhu air nutrisi juga mempengaruhi berat dan lebar daun pada tanaman yang dihasilkan dan suhu yang terlalu rendah menyebabkan daun tanaman berukuran kecil yang mengakibatkan perubahan morfologi daun yang signifikan [12] [13]. Oleh karena itu, pengklasifikasian kondisi nutrisi yang ideal berdasarkan tiga parameter utama yaitu suhu nutrisi, TDS, dan pH tanaman diperlukan untuk menghasilkan tanaman yang sehat dan optimal. Sehingga penting bagi petani untuk mengetahui kondisi dan kualitas air nutrisi hidroponik.

Monitoring kualitas air nutrisi hidroponik telah dibahas pada penelitian sebelumnya seperti [14] yang menggunakan algoritma K-NN untuk mengklasifikasikan kondisi air budidaya akuaponik dalam baik atau buruk dengan parameter suhu, EC, dan pH kemudian data dari sensor direcord untuk evaluasi kondisi nutrisi. Pada penelitian [15] [16] [17] berfokus pada monitoring kondisi air nutrisi salah satunya dengan metode PPDIIOO berdasarkan suhu dan EC saja untuk menggolongkan kondisi nutrisi berdasarkan batas minimal dan maksimal masing-masing parameter dan dilakukan penambahan larutan asam atau basa apabila kondisi parameter pH dalam kondisi buruk. Metode fuzzy sugeno sudah pernah diimplementasikan pada penelitian [18] yang dikhususkan untuk kondisi nutrisi tanaman cabe dengan media hidroponik dengan kualifikasi 2 kondisi yaitu baik atau buruk. Penelitian lain yang telah dilakukan oleh [19] dan [20] mengidentifikasi kondisi nutrisi berdasarkan pH, TDS, suhu, dan kekeruhan secara *mobile*.

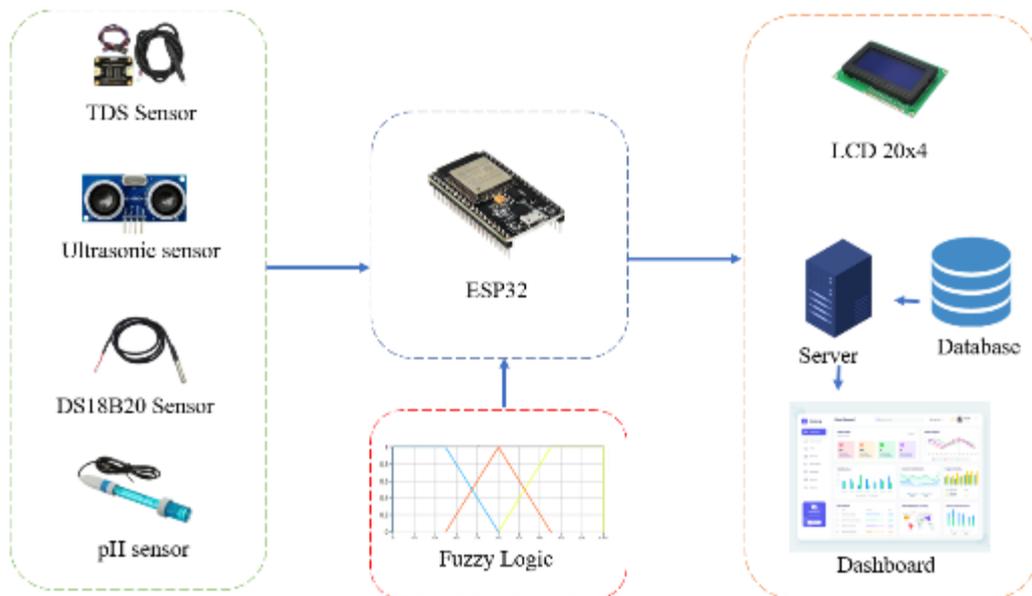
Identifikasi kondisi dilakukan secara manual dengan memantau hasil pengukuran sensor kemudian pengguna yang akan memutuskan kondisi nutrisi dalam keadaan baik atau buruk sehingga penyesuaian nilai pH dan TDS akan diatur oleh pengguna.

Penelitian-penelitian sebelumnya menentukan kondisi nutrisi baik atau buruk berdasarkan penurunan nilai salah satu parameter sehingga kondisi nutrisi kurang jelas secara keseluruhan dan hanya berlaku untuk satu jenis tanaman saja. Sehingga penelitian ini mengajukan sebuah sistem untuk mengklasifikasikan level kualitas dari air nutrisi pada hidroponik berdasarkan nilai suhu air nutrisi, nilai *Total Dissolved Solids* (TDS) pada air nutrisi, dan pH nutrisi menggunakan metode *fuzzy logic classification* dalam bentuk level persentase untuk semua jenis tanaman. Level kualitas air nutrisi sistem ini dibedakan menjadi empat yaitu kondisi nutrisi baik, medium/średang, kurang baik, dan sangat buruk dalam bentuk persentase dengan skala 0-100%. Sistem ini juga menampilkan data sensor pada *website* sehingga memudahkan pengguna untuk memantau kondisi nutrisi tanaman dari jarak jauh dan *record* data sensor sebagai evaluasi sistem dan kondisi aktual nutrisi. Diharapkan sistem ini dapat membantu dan memudahkan pelaku hidroponik atau petani untuk mengidentifikasi kondisi nutrisi tanaman sehingga dapat dilakukan penanganan yang tepat apabila kondisi nutrisi dalam keadaan sangat buruk atau dibawah persentase level yang diharapkan.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Sistem Desain

Sistem desain pada penelitian ini dibagi menjadi empat bagian yaitu pembacaan sensor, pengolahan data parameter air nutrisi, *fuzzy logic classification*, dan penampilan hasil output seperti pada Gambar 1.



Gambar 1 Blok diagram sistem

Sistem ini memakai mikrokontroler ESP32 dengan input sensor suhu air nutrisi, sensor ultrasonik atau level air, sensor TDS analog, dan sensor pH seperti tampak pada kotak hijau Gambar 1. Sensor suhu yang digunakan yaitu DS18B20 *Waterproof by* Adafruit digunakan untuk mengukur suhu air nutrisi di dalam bak. Water level sensor yang dipakai yaitu sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mengukur ketinggian air di dalam bak nutrisi. Sensor *Total Dissolved Solids* (TDS) yang digunakan dari DFRobot untuk mengukur kadar larutan nutrisi di dalam bak nutrisi yang ditunjukkan dengan satuan *part-per-million* (ppm). Sensor pH modul yang digunakan dari DFRobot untuk mengukur kadar keasaman atau pH di dalam air nutrisi. Semua data sensor akan

diolah sebagai input *fuzzy logic* kemudian akan didapatkan hasil output berupa kondisi nutrisi tanaman dengan keputusan baik, sedang, buruk, atau sangat buruk. Data sensor dan hasil deteksi kondisi air nutrisi hidroponik akan ditampilkan pada LCD dan juga pada *website* untuk memudahkan pengguna dalam mengamati perubahan data sensor yang terbaca.

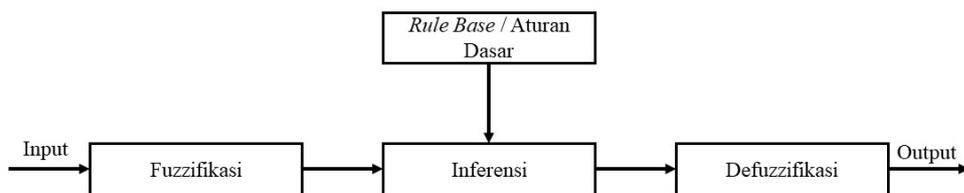
Sensor, mikrokontroler, dan LCD yang digunakan akan disatukan dalam box untuk memudahkan pengguna dalam pengambilan data seperti pada Gambar 2.



Gambar 2 Hardware

2.2 Metode Klasifikasi

Metode klasifikasi yang dipakai pada penelitian ini yaitu logika *fuzzy classification* Tsukamoto yang diolah dalam mikrokontroler dengan input tiga parameter yaitu suhu nutrisi, TDS, dan pH nutrisi di dalam bak. Semua input akan diolah dengan tahapan fuzzifikasi, inferensi dengan *rule base* yang telah ditentukan sebelumnya, dan defuzzifikasi untuk menghasilkan keputusan sesuai dengan parameter input yang didapatkan seperti tampak pada Gambar 3.



Gambar 3 Diagram *fuzzy logic*

Tahap terpenting sebelum merancang logika fuzzy yaitu melakukan komunikasi intensif dengan petani untuk menyesuaikan dan menentukan parameter dalam logika fuzzy seperti fungsi keanggotaan yang sesuai dengan kondisi aktual di lapangan. Hal ini dilakukan untuk mengoptimalkan klasifikasi kondisi nutrisi sehingga dapat memudahkan petani dalam menganalisa pertumbuhan tanaman. Dalam penelitian ini, penulis memanfaatkan hasil peneliti lain dan sumber buku ilmiah [5] [21] [22] sebagai salah satu sumber penentuan standar kondisi nutrisi yang ideal untuk menciptakan fungsi keanggotaan seperti yang ditunjukkan melalui Tabel 1.

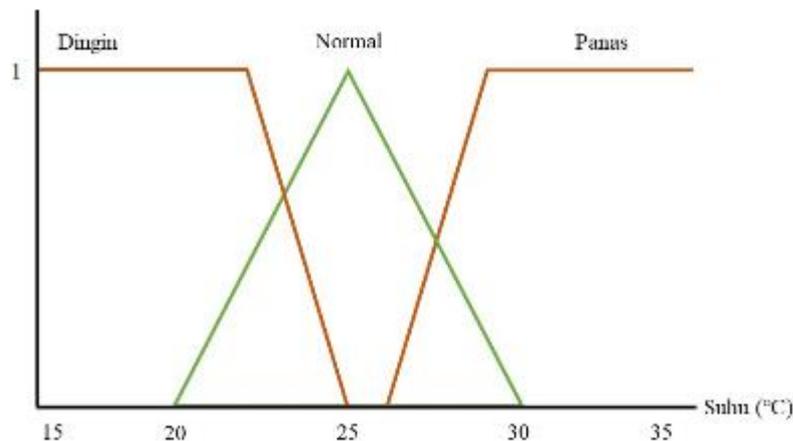
Tabel 1 Kebutuhan Dasar dari Tanaman Hidroponik

pH	5,8-6,5
Suhu	20-30 °C
TDS	480-1920 ppm
Cahaya	14-16 jam per hari
Kelembapan	60-90 %

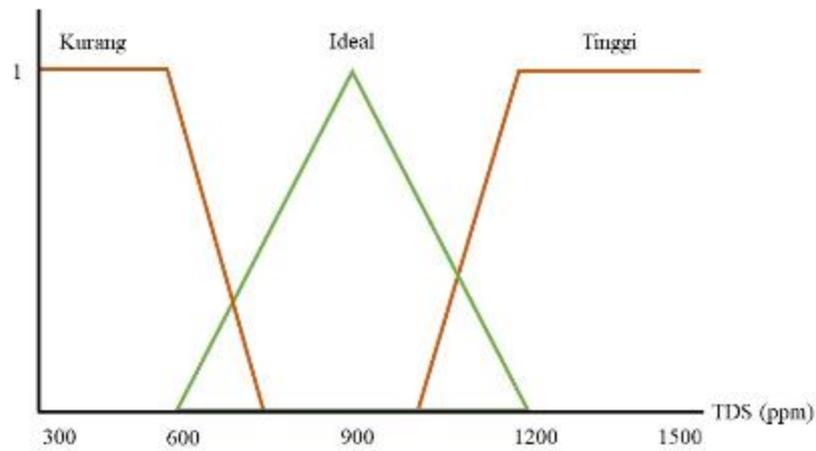
Sistem inferensi metode fuzzy Tsukamoto yang digunakan yaitu logika aturan “*if-then*”. Tahapan pertama dalam metode fuzzy Tsukamoto adalah penentuan fungsi keanggotaan dari masing-masing parameter yang didapatkan dari tiga sensor. Setelah mengetahui derajat keanggotaan dari masing-masing parameter dengan aturan fuzzy, nilai predikat alpha dapat dihitung dengan operasi himpunan fuzzy. Selanjutnya, hasil dari inferensi ini diproses dengan defuzzifikasi untuk mengetahui kualitas air nutrisi tanaman hidroponik berupa keputusan level kualitas nutrisi dalam keadaan baik, sedang, buruk, ataupun sangat buruk [23].

Berikut fungsi keanggotaan yang digunakan dalam sistem, inferensi, *rule base*, dan fuzzifikasi untuk menentukan keputusan dari input yang didapatkan.

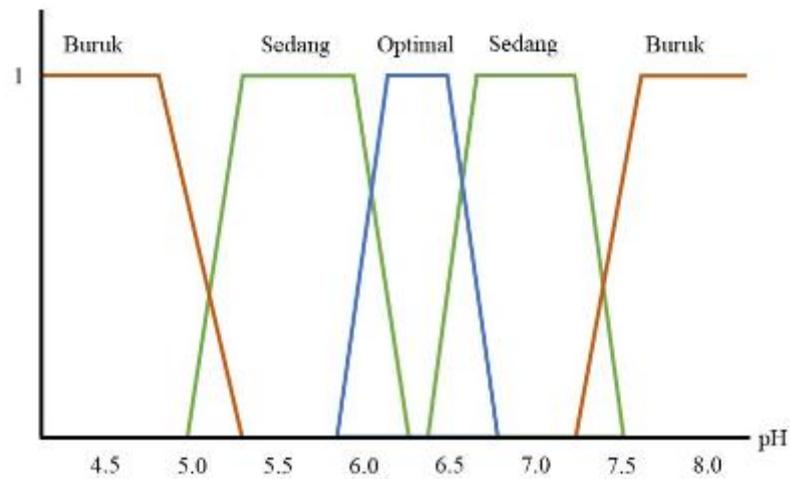
- 1) Fungsi Keanggotaan: Dalam proses fuzzifikasi ini menggunakan input berupa hasil pengukuran tiga parameter dari sensor yaitu suhu dengan satuan derajat celcius (°C), input TDS dari sensor TDS dengan satuan ppm (*part per million*), dan input nilai pH dari sensor pH. Semua batasan dari tiga parameter ini dimasukkan pada masing-masing fungsi keanggotaan atau disebut sebagai *membership function* (MF). Fungsi keanggotaan dalam penelitian ini yaitu MF suhu, MF TDS, dan MF pH dimana bentuk fungsi ini adalah trapesium dan segitiga. Masing-masing fungsi keanggotaan atau MF dari ketiga input parameter yaitu tiga label berbeda yang mewakili masing-masing parameter yang didapatkan dari hasil wawancara, sumber penelitian, dan buku ilmiah [5] [21] [22]. Gambar 4, 5, dan 6 masing-masing menunjukkan fungsi keanggotaan dari tiga parameter tersebut.



Gambar 4 *Membership function* input suhu



Gambar 5 Membership function input TDS



Gambar 6 Membership function pH

Hasil pengukuran dari sensor akan dihitung nilai masing-masing derajat keanggotaannya berdasarkan fungsi keanggotaan. Rumus (1) menunjukkan perhitungan apabila nilai yang didapatkan dari sensor berada dalam kurva segitiga dan Rumus (2) menunjukkan perhitungan dalam kurva trapesium.

$$\mu(x; a, b, c) = \begin{cases} 1 & ; x < b \\ \frac{c-x}{c-b} & ; b \leq x \leq c \\ 0 & ; x > c \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & ; x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & ; a \leq x \leq b \\ 1 & ; b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & ; c \leq x \leq d \\ 0 & ; x \geq d \end{cases} \quad (2)$$

- 2) Inferensi: Nilai derajat keanggotaan masing-masing parameter yang didapatkan pada proses fuzzifikasi sebelumnya akan dimasukkan pada proses penentuan aturan atau disebut juga sebagai aturan “*if then rule base fuzzy*” yang akan menciptakan *rule strength* dengan memakai operasi AND. Masing-masing *rule* memiliki klasifikasi yang berbeda yaitu baik, medium, kurang baik, dan sangat buruk untuk memudahkan pengguna dalam mengetahui kondisi nutrisi. Nilai derajat keanggotaan yang didapatkan akan dicari nilai alfa-nya dari masing-masing derajat keanggotaan yang telah dikelompokkan pada aturan atau *rule* yang telah ditentukan. Sebelum memasuki proses defuzzifikasi, masing-masing nilai alfa dari setiap *rule* dicari dengan menggunakan fungsi MIN atau nilai terkecil. Hasil fungsi implikasi setiap aturan ini akan diproses ke tahap defuzzifikasi dalam menentukan nilai z untuk mendapatkan hasil klasifikasi. Aturan *rule base* dari parameter suhu, TDS, dan pH ditunjukkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2 Rule Base Fuzzy Logic Classification

Membership Function Suhu	Membership Function TDS	Membership Function pH	Klasifikasi
Dingin	Kurang	Buruk	Sangat Buruk
Dingin	Kurang	Sedang	Kurang Baik
Dingin	Kurang	Optimal	Medium
Dingin	Ideal	Buruk	Medium
Dingin	Ideal	Sedang	Baik
Dingin	Ideal	Optimal	Baik
Dingin	Tinggi	Buruk	Sangat Buruk
Dingin	Tinggi	Sedang	Kurang Baik
Dingin	Tinggi	Optimal	Medium
Normal	Kurang	Buruk	Kurang Baik
Normal	Kurang	Sedang	Medium
Normal	Kurang	Optimal	Baik
Normal	Ideal	Buruk	Medium
Normal	Ideal	Sedang	Baik
Normal	Ideal	Optimal	Baik
Normal	Tinggi	Buruk	Kurang Baik
Normal	Tinggi	Sedang	Medium
Normal	Tinggi	Optimal	Baik
Panas	Kurang	Buruk	Sangat Buruk
Panas	Kurang	Sedang	Kurang Baik
Panas	Kurang	Optimal	Kurang Baik
Panas	Ideal	Buruk	Kurang Baik
Panas	Ideal	Sedang	Medium
Panas	Ideal	Optimal	Baik
Panas	Tinggi	Buruk	Sangat Buruk
Panas	Tinggi	Sedang	Kurang Baik
Panas	Tinggi	Optimal	Kurang Baik

- 3) Defuzzifikasi: Setelah mendapatkan *output* yang sesuai dengan *rule base* pada proses sebelumnya, data akan diproses ke tahap selanjutnya yaitu defuzzifikasi. Proses defuzzifikasi yaitu proses pengubahan data-data fuzzy menjadi data numerik yang dapat diimplementasikan ke *plant* [24]. Setelah mendapatkan nilai alfa, langkah selanjutnya yaitu menghitung nilai z dari masing-masing *rule* berdasarkan klasifikasi yang diperoleh. Berikut perhitungan nilai z dari masing-masing klasifikasi.

- Perhitungan nilai z untuk klasifikasi “Sangat Buruk”

$$z_i = 40 - 40\alpha_i \tag{3}$$

- Perhitungan nilai z untuk klasifikasi “Kurang Baik”

$$z_i = 15\alpha_i + 30 \text{ dan } z_i = 60 - 15\alpha_i \quad (4)$$

- Perhitungan nilai z untuk klasifikasi “Medium”

$$z_i = 12,5\alpha_i + 55 \text{ dan } z_i = 80 - 24,5\alpha_i \quad (5)$$

- Perhitungan nilai z untuk klasifikasi “Baik”

$$z_i = 30\alpha_i + 70 \quad (6)$$

Nilai z yang telah didapatkan dari masing-masing rule base akan masuk ke tahap defuzzifikasi. Pada penelitian ini menggunakan defuzzifikasi seperti pada Rumus (7). Nilai Z yang didapatkan akan menunjukkan hasil persentase dari kondisi nutrisi di dalam bak yang dikategorikan menjadi empat klasifikasi kondisi yang berbeda.

$$Z = \frac{(\alpha_1 * z_1) + (\alpha_2 * z_2) + (\alpha_3 * z_3) + \dots + (\alpha_n * z_n)}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \dots + \alpha_n} \quad (7)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian alat dilakukan secara bertahap yaitu mulai dari pengujian pada sensor suhu air nutrisi, pengujian sensor *Total Dissolved Solids* (TDS), pengujian sensor pH, pengujian tampilan data *website*, dan pengujian *fuzzy logic classification* untuk penentuan kondisi nutrisi. Pengujian pada masing-masing sensor akan dibandingkan dengan alat pengukur komersial kemudian dihitung selisih keduanya untuk mendapatkan nilai error yang akan menjadi acuan kelayakan dan kesensitifan sensor menggunakan Rumus (8).

$$\text{Perhitungan error} = \left| \frac{\text{Alat ukur} - \text{sensor}}{\text{Alat ukur}} \right| \times 100 \% \quad (8)$$

3.1 Pengujian Sensor Suhu

Sensor suhu yang digunakan pada penelitian ini yaitu sensor DS18B20 *waterproof* yang merupakan sensor untuk mengukur suhu cairan karena dilengkapi lapisan tahan air pada probenya. Sensor ini sangat populer karena harganya yang relatif rendah dengan dukungan protokol *1-wire* serta memiliki kepresisian yang baik pada rentang suhu yang luas (mulai dari -55 °C hingga 125 °C) [25]. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kesensitifan dari sensor DS18B20 *waterproof* yang akan digunakan dalam mengukur suhu air nutrisi di dalam bak serta mengetahui kelayakan sensor DS18B20 *waterproof* yang bekerja pada sistem.

Tabel 3 Hasil Pengujian Sensor DS18B20

Suhu Termometer (°C)	Suhu DS18B20 (°C)	Error (%)
6,7	6,56	2,09
13,8	13,19	4,42
22,7	22,25	1,98
25	24,56	1,76
26,9	26,37	1,97
30	29,62	1,26
32,2	31,91	0,9
35,4	35,6	0,5

Pembacaan sensor dibandingkan dengan pembacaan termometer berstandar SNI yang dijual secara komersial sebagai pembanding. Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 3 terjadi selisih antara pengukuran suhu menggunakan sensor dan termometer yang dihitung dengan rumus (8) sehingga diperoleh selisih pembacaan sensor atau error rata-rata yang relatif sangat kecil yakni

$\pm 5\%$. Dengan pertimbangan error yang sangat kecil tersebut dapat disimpulkan bahwa sensor ini cukup stabil dalam pengambilan nilai suhu air dan layak digunakan pada sistem ini.

3.2 Pengujian Sensor Total Dissolved Solids (TDS)

Sensor TDS dipakai sebagai pendeteksi jumlah partikel padatan terlarut dalam air, baik organik maupun anorganik atau biasa disebut *Total Dissolved Solids*. Sensor TDS menggunakan metode konduktivitas listrik, dimana dua probe direndam dalam suatu cairan atau larutan kemudian rangkaian pemrosesan sinyal akan menghasilkan keluaran yang menunjukkan konduktivitas larutan [26]. Pengujian sensor TDS ini bertujuan untuk mengetahui kesensitifan dari sensor TDS yang akan diimplementasikan dalam mengukur TDS nutrisi di dalam bak serta mengetahui kelayakan sensor TDS yang bekerja pada sistem. Pada pengujian ini probe sensor dicelupkan pada larutan yang berisi campuran nutrisi A dan larutan nutrisi B yang biasa dipakai oleh petani hidroponik sebagai nutrisi tanaman dengan kadar ppm yang berbeda-beda.

Tabel 4 Hasil Pengujian Sensor TDS Gravity

TDS Meter (ppm)	Sensor TDS Gravity (ppm)	Error (%)
323	332	2,8
500	512	2,4
573	597	4,2
592	606	2,3
780	810	3,8
817	832	2,8
861	870	2,2
913	974	6,6
1001	1021	2,9
1168	1188	2,7

Hasil pengujian sensor TDS pada Tabel 4 dibandingkan dengan alat ukur TDS meter SNI dengan tujuan untuk mengetahui kelayakan sensor tersebut dalam pengukuran TDS di dalam larutan nutrisi. Hasil pengujian yang telah dilakukan, selisih pembacaan sensor atau error rata-rata mencapai $\pm 3,5\%$ yang mana cukup stabil untuk digunakan dalam pengukuran kadar nutrisi di dalam bak hidroponik.

3.3 Pengujian Sensor pH

Potential of hydrogen (pH) adalah parameter yang menunjukkan seberapa asam atau alkali suatu larutan. Indikator pH dari larutan nutrisi sangat penting karena mempengaruhi proses fotosintesis tanaman. Oleh karena itu, pengkondisian nilai pH larutan perlu dilakukan untuk mencegah kerusakan pada tanaman [27]. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan larutan *buffer* untuk mengetahui sensitivitas sensor pH yang akan diimplementasikan untuk mengukur kadar keasaman nutrisi di dalam bak hidroponik.

Tabel 5 Hasil Pengujian Sensor pH

Buffer Solution	pH	Error (%)
4,01	3,86	3,74
6,86	6,48	5,54
9,18	8,92	2,83

Pembacaan sensor terhadap larutan *buffer* menunjukkan error rata-rata yang didapatkan yaitu $\pm 4,04\%$ yang mana cukup kecil dan stabil apabila digunakan pada sistem ini untuk mengukur kadar pH larutan nutrisi di dalam bak hidroponik.

3.4 Pengujian Fuzzy Logic Classification dan Pengiriman Data ke Website

Logika fuzzy diterapkan pada sistem ini bertujuan untuk menentukan kondisi dari air nutrisi di dalam bak hidroponik dalam kondisi baik, sedang/medium, cukup baik, kurang baik, ataupun dalam kondisi buruk dalam persentase 0-100 %. Pada pengujian ini sampel hidroponik yang diujikan yaitu sebanyak 20 sampel dengan 6 sampel diantaranya diambil dari 3 kebun hidroponik berbeda di Surabaya yaitu Kebun Hidroponik Jemursari, Kebun Hidroponik Keputih, dan Dinas Pertanian Surabaya. Berikut tabel hasil pengujian logika fuzzy pada 20 sampel air nutrisi yang berbeda beserta persentase dan hasil klasifikasi yang telah diproses menggunakan metode logika fuzzy.

Tabel 6 Hasil klasifikasi logika fuzzy terhadap kondisi air nutrisi

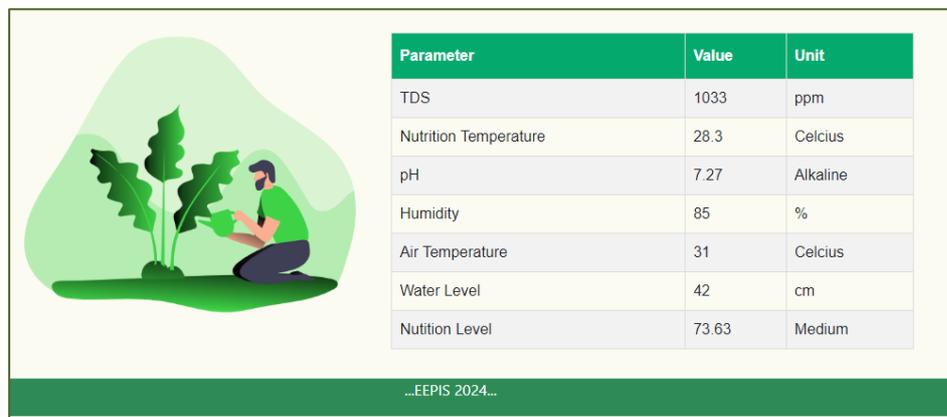
Suhu (°C)	TDS (ppm)	pH	Persentase	Klasifikasi
32,4	610	9,33	5,98 %	Sangat Buruk
32,9	769	8,52	51,55 %	Kurang Baik
22,5	1620	5,14	54,20 %	Kurang Baik
29,7	1125	5,81	61,19 %	Medium
28,3	1033	7,27	73,63 %	Medium
28,5	924	5,94	77,21 %	Medium
29,3	988	6,47	83,84 %	Baik
26,7	893	6,35	91,50 %	Baik
20,7	633	4,12	32,97 %	Kurang Baik
24,6	780	5,31	85,45 %	Baik
25,9	912	7,40	80 %	Baik
27,3	539	5,91	69,32 %	Medium
28,1	982	6,30	79,65 %	Baik
31,3	744	8,73	52,8 %	Medium
33,4	1019	7,34	64,38 %	Medium
30,7	1120	7,37	63,95 %	Medium
26,5	866	4,96	66,12 %	Medium
32,2	753	8,34	52,35 %	Medium
30,1	911	9,76	51,9 %	Medium
29,6	1105	6,50	62,6 %	Medium

Dari hasil percobaan terlihat bahwa hasil klasifikasi sudah berhasil menunjukkan level kualitas nutrisi sesuai dengan *rule base* yang telah ditentukan sebelumnya. Dari hasil klasifikasi tersebut dapat membantu petani dalam menentukan penanganan selanjutnya terhadap kondisi nutrisi untuk tanaman. Kondisi nutrisi yang buruk dapat menyebabkan pertumbuhan tanaman menjadi kurang optimal.

Keputusan hasil klasifikasi yang diolah dengan logika fuzzy dan hasil pembacaan sensor ditampilkan pada LCD seperti pada Gambar 7. Selain itu data sensor akan dikirimkan ke *website* guna memudahkan pengguna dalam mengetahui nilai parameter nutrisi tersebut. Gambar 8 menunjukkan tampilan pada *website* yang menunjukkan data yang didapat dari pembacaan sensor pada sampel air nutrisi. Integrasi antara sensor, *database*, dan *website* memberikan solusi yang efisien untuk monitoring parameter nutrisi, menyediakan informasi yang akurat dan terkini kepada pengguna. Proses ini menciptakan sistem yang transparan dan mudah diakses, mendukung keputusan yang lebih baik dalam pengelolaan dan pemantauan kondisi nutrisi oleh petani hidroponik.



Gambar 7 Tampilan LCD hasil pembacaan sensor



Gambar 8 Tampilan *dashboard website*

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil percobaan terlihat bahwa pembacaan parameter oleh masing-masing sensor telah berjalan sesuai yang diinginkan dan memiliki tingkat error yang mendekati 5% atau keakuratan sensor mencapai 95%. Implementasi klasifikasi menggunakan logika fuzzy telah memenuhi harapan yang ditetapkan dengan menunjukkan persentase level kualitas masing-masing sampel nutrisi yang telah diuji cobakan dengan klasifikasi baik, medium, kurang baik, atau sangat buruk. Hasil klasifikasi tersebut memberikan kemudahan bagi para petani atau pelaku hidroponik dalam menentukan langkah selanjutnya ketika kondisi nutrisi pada bak buruk. Pemantauan yang dilakukan sangat fleksibel, dapat diakses langsung melalui alat dan juga dapat dimonitor dari jauh melalui situs *website* oleh pengguna, memungkinkan pengguna untuk melihat catatan kondisi atau *record* kondisi tanaman sebelumnya. Penelitian ini juga bermanfaat bagi petani dalam mencapai kondisi air nutrisi yang optimal mendekati 100% berdasarkan indikator klasifikasi level persentase yang dibuat dengan sistem ini. Untuk pengembangan selanjutnya, diperlukan implementasi kontrol secara otomatis guna menangani kondisi buruk pada nutrisi. Hal ini bertujuan agar nutrisi tanaman dapat terjaga dalam kondisi optimal, sehingga tanaman yang dihasilkan dapat mencapai pertumbuhan maksimalnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Q. Ayun, S. Kurniawan and W. A. Saputro, "Perkembangan Konversi Lahan Pertanian di Bagian Negara Agraris," *Jurnal Ilmu Pertanian Tropika dan Subtropika*, vol. V, no. 2, pp. 38-44, 2020.
- [2] B. P. Statistik, "Hasil Sensus Penduduk (SP2020) pada September 2020 mencatat jumlah penduduk sebesar 270,20 Juta Jiwa," 2021 Januari 2021. [Online]. Available: <https://www.bps.go.id/id/pressrelease/2021/01/21/1854/hasil-sensus-penduduk--sp2020--pada-september-2020-mencatat-jumlah-penduduk-sebesar-270-20-juta-jiwa-.html>. [Accessed 10 Maret 2024].
- [3] M. Rondhi, P. A. Pratiwi, V. T. Handini, A. F. Sunartomo and S. A. Budiman, "Agricultural Land Conversion, Land Economic Value, and Sustainable Agriculture: A Case Study in East Java, Indonesia," *MDPI*, vol. VII, no. 148, pp. 1-19, 2018.
- [4] "Badan Pusat Statistik," BPS - Statistic Indonesia, [Online]. Available: <https://www.bps.go.id/>. [Accessed 1 Maret 2024].
- [5] R. Nalwade and T. Mote, "Hydroponics Farming," in *International Conference on Trends in Electronics and Informatics*, Tirunelveli, 2017.
- [6] R. Lal, "Resorting Soil Quality to Mitigate Soil Degradation," *MDPI : Sustainability*, vol. VII, no. 5, pp. 5875-5895, 2015.
- [7] G. N. Yuan, G. P. B. Marquez, H. Deng, A. Iu, M. Fabella, R. B. Salonga, F. Ashardiono and J. A. Cartagena, "A Review on Urban Agriculture: Technology, Socio-economy, and Policy," *Heliyon*, pp. 1-16, 2022.
- [8] M. Sakamoto and T. Suzuki, "Effect of Nutrient Solution Concentration on the Growth of Hydroponic Sweetpotato," *MDPI: Agronomy*, vol. X, no. 1708, pp. 1-14, 2020.
- [9] Y. E. Fimbres-Acedo, S. Traversari, S. Cacini, G. Costamagna, M. Ginepro and D. Massa, "Testing the Effect of High pH and Low Nutrient Concentration on Four Leafy Vegetables in Hydroponics," *MDPI : Agronomy*, vol. XIII, no. 41, pp. 1-14, 2022.
- [10] D. P. Gillespie and C. Kubota, "Effects of Low pH of Hydroponic Nutrient Solution on Plant Growth, Nutrient Uptake, and Root Rot Disease Incidence of Basil (*Ocimum basilicum* L.)," *Hortscience*, vol. LV, no. 8, pp. 1251-1258, 2020.
- [11] R. D. Purianto, S. and A. Yudhana, "LSTM Based Prediction of Total Dissolved Solids in Hydroponic System," in *Ahmad Dahlan International Conference Series on Engineering and Science*, Yogyakarta, 2019.
- [12] D. Takulla, B. Dunn, B. Hu, C. Goad and N. Maness, "Nutrient Solution Temperature Affects Growth and °Brix Parameters of Seventeen Lettuce Cultivars Grown in an NFT Hydroponic System," *Horticulturae*, vol. VII, no. 321, pp. 1-10, 2021.
- [13] A. A. Rachman, K. and W. Sutari, "Effect of Nutrient Solution Temperature and Varieties on Growth and Yield of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) with Nutrient Film Technique System," *Eksakta*, vol. XXIV, no. 4, pp. 476-486, 2023.
- [14] E. A. Priatno and N. Muniroh, "Penerapan Algoritma K-NN pada Machine Learning untuk Klasifikasi Kualitas Air Budidaya Akuaponik Berbasis IoT," *Jurnal Teknologi dan Bisnis*, vol. IV, no. 2, pp. 73-86, 2022.
- [15] A. S. Ratna and W. , "Monitoring Kualitas Air dan Kadar Nutrisi Tanaman Hidroponik Berbasis Internet of Things," *Technologia*, vol. XIV, no. 4, pp. 449-456, 2023.
- [16] N. Heriyani and S. Ernawati, "Pemanfaatan Teknologi IoT Berbasis Mobile dalam Upaya Monitoring Kualitas Air pada Tanaman Hidroponik," *JATI*, vol. VIII, no. 3, pp. 2807-2913, 2024.

- [17] R. Alfian, A. Steafanie and Y. Saragih, "Analisa Kinerja Sensor untuk Pengukuran Kualitas Air pada Hidroponik Sistem Nutrient Film Technique," *Aisyah Journal of Informatics and Electrical Engineering (AJIEE)*, vol. VI, no. 1, pp. 11-26, 2024.
- [18] M. A. Ardiansyah, I. G. Wiryawan and K. Agustianto, "Hydroponic Nutrition Water Quality Identification System on Cayenne Pepper Using Fuzzy Method Based on IoT," in *International Conference on Applied Science and Technology on Engineering Science*, Bandung, 2022.
- [19] A. Rahayuningtyas, D. Sagita and N. D. Susanti, "Sistem Deteksi dan Pemantauan Kualitas Air pada Akuaponik Berbasis Android," *Jurnal Riset Teknologi Industri*, vol. XV, no. 1, pp. 75-89, 2021.
- [20] R. G. Calibra, I. Ardiansah and N. Bafdal, "Pengendalian Kualitas Air untuk Tanaman Hidroponik Menggunakan Raspberry Pi dan Arduino Uno," *Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi*, vol. VII, no. 1, pp. 240-250, 2021.
- [21] J. B. J. Jr, *Complete Guide for Growing Plants Hydroponically*, South Carolina: CRC Press, 2014.
- [22] H. Fakhurroja, S. A. Mardhotillah and O. Mahendra, "Automatic pH and Humidity Control System for Hydroponics Using Fuzzy Logic," in *International Conference on Computer, Control, Informatics and its Applications*, Bandung, 2019.
- [23] F. I. Amaliah, A. I. Gunawan, Taufiqurrahman, B. S. B. Dewantara and F. A. Putra, "Water Quality Level for Shrimp Pond at Probolinggo Area Based on Fuzzy Classification System," *Jurnal Rekayasa Elektrika*, vol. XIX, no. 1, pp. 38-45, 2023.
- [24] S. Kuswadi, *Kendali Cerdas (Intelligent Control)*, Surabaya: EEPIS Press, 2000.
- [25] K. Koritsoglou, V. Christou, G. Ntritsos, G. Tsoumanis, M. G. Tsipouras, N. Giannakeas and A. T. Tzallas, "Improving the Accuracy of Low-Cost Sensor Measurements for Freezer Automation," *MDPI: Sensors*, vol. XX, no. 6389, pp. 1-16, 2020.
- [26] Y. Irawan, A. Febriani, R. Wahyuni and Y. Devis, "Water Quality Measurement and Filtering Tools Using Arduino Uno, PH Sensor and TDS Meter Sensor," *Journal of Robotics and Control*, vol. II, no. 5, pp. 357-362, 2021.
- [27] R. L. Alam and A. Nasuha, "Sistem Pengendali pH Air dan Pemantauan Lingkungan Tanaman Hidroponik menggunakan Fuzzy Logic Controller berbasis IoT," *ELINVO (Electronics, Informatics, and Vocational Educational)*, vol. V, no. 1, pp. 11-20, 2020.