

A NEW MODEL FOR HYDROPONIC LETTUCE NUTRITION ADAPTIVE CONTROL SYSTEM BASED ON FUZZY LOGIC SUGENO METHOD USING ESP32

Andi Baso Kaswar^{*1}, Ridwan Daud Mahande², Jasruddin Daud Malago³

¹Computer Engineering Department, Universitas Negeri Makassar, Indonesia

²Informatics and Computer Engineering Education Department, Universitas Negeri Makassar, Indonesia

³Department of Physics Science-Education, Universitas Negeri Makassar, Indonesia

Email : ¹a.baso.kaswar@unm.ac.id, ²ridwandm@unm.ac.id, ³jasruddin@unm.ac.id

(Naskah masuk: 29 September 2022, Revisi: 1 November 2022, Diterbitkan: 23 Maret 2023)

Abstract

In the last few years, the terms Smart Agriculture, Smart Farming, Urban Farming, or Precision Farming have been increasingly recognized and growing rapidly. Hydroponics is one part that is currently a trend, both in industrial or household scale businesses and hobbies. One of the most important things to consider in maintaining the quality of hydroponic plant growth is the concentration of nutrients in the water. A series of studies have been conducted to improve the quality of hydroponic plants. However, the developments that have been carried out have not focused on optimal nutritional control. The previous hydroponic plant nutrition control system still used conventional methods, namely the use of a rule base with firm values, and did not consider the quantity and quality of water. Therefore, this study proposes a new model for an adaptive control system for hydroponic lettuce nutrition based on the Fuzzy Logic Sugeno method using ESP32. The fuzzy logic Sugeno method is used to create a new model of the inference system for determining the amount of nutrient dosage based on supporting data obtained from sensors installed on hydroponic growing media. Compared with the conventional method, the resulting test results show that the proposed method can adapt the amount of added nutrients, provide optimal nutrient addition output, and prevent excess nutrient additions that can potentially accumulate toxic ions in water that degrade water quality.

Keywords: *esp32, fuzzy logic, hydroponic, lettuce, nutrition.*

SEBUAH MODEL BARU UNTUK SISTEM KONTROL ADAPTIF NUTRISI SELADA HIDROPONIK BERBASIS LOGIKA FUZZY METODE SUGENO MENGGUNAKAN ESP32

Abstrak

Beberapa tahun terakhir istilah *Smart Agriculture, Smart Farming, Urban Farming*, ataupun *Precision Farming* semakin dikenal dan berkembang begitu pesat. Hidroponik adalah salah satu bagian yang sedang tren saat ini baik dalam usaha skala industri ataupun rumah tangga dan hobi. Salah satu hal yang paling penting diperhatikan dalam menjaga kualitas pertumbuhan tanaman hidroponik adalah kepekatan nutrisi dalam air. Serangkaian penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan kualitas tanaman hidroponik. Namun, pengembangan-pengembangan yang dilakukan belum berfokus kepada pengontrolan nutrisi secara optimal. Sistem kontrol nutrisi tanaman hidroponik sebelumnya masih menggunakan metode konvensional yaitu berupa penggunaan *rule base* dengan nilai tegas dan tidak mempertimbangkan kuantitas dan kualitas air. Hal tersebut mengakibatkan penggunaan nutrisi yang kurang optimal. Oleh karena itu, pada penelitian ini diusulkan sebuah model baru untuk sistem kontrol adaptif nutrisi selada hidroponik berbasis *Fuzzy Logic* metode Sugeno menggunakan ESP32. *Fuzzy Logic* metode Sugeno digunakan untuk membuat model baru sistem inferensi penentuan jumlah takaran nutrisi berdasarkan data-data pendukung yang diperoleh dari sensor yang terpasang pada media tanam hidroponik. Dibandingkan dengan metode konvensional, hasil pengujian yang dihasilkan menunjukkan bahwa metode yang diusulkan dapat menyesuaikan jumlah nutrisi yang ditambahkan secara adaptif, memberikan output penambahan nutrisi yang lebih optimal, dan mencegah berlebihnya penambahan nutrisi yang berpotensi mengakumulasi ion beracun dalam air yang menurunkan kualitas air.

Kata kunci: *esp32, fuzzy logic, hidroponik, nutrisi, selada*

1. PENDAHULUAN

Besarnya permintaan pangan, terbatasnya pasokan sumber daya alam dan ketidakpastian dalam produktivitas pertanian menjadi tren utama yang mendorong terjadinya perubahan besar pada pangan dan pasar pertanian di dunia [1]. Menurut laporan Departemen Ekonomi dan Sosial Persatuan Bangsa-Bangsa (PBB) diprediksi akan terjadi lonjakan populasi dunia menjadi 9,8 miliar pada tahun 2050. Pertumbuhan populasi yang begitu besar tentu akan mengakibatkan semakin melonjaknya permintaan pangan di seluruh dunia. Pada sisi yang lain, dunia diprediksi akan mengalami kelangkaan air sebesar 40% dan jumlah lahan yang bisa ditanami akan berkurang lebih dari 20% pada tahun 2030 [1]. *Food and Agriculture Organization* (FAO) memprediksi bahwa dengan peningkatan populasi dunia sebesar 40% pada tahun 2050, maka diperlukan peningkatan produksi pangan sebesar 70% untuk memenuhi kebutuhan pangan [2].

Beberapa tahun terakhir istilah *Smart Agriculture*, *Smart Farming*, *Urban Farming*, ataupun *Precision Farming* semakin dikenal dan berkembang begitu pesat. *Smart Farming* merupakan konsep manajemen pertanian yang berfokus kepada penyediaan infrastruktur bagi industri pertanian dengan memanfaatkan teknologi canggih seperti *Internet of Things (IoT)*, *Data Mining*, *Artificial Intelligence* dalam rangka melacak, memantau, mengotomatisasi, dan menganalisis operasi. Tujuannya akhirnya adalah untuk meningkatkan kualitas dan kuantitas hasil produksi pertanian [3]. *Smart Farming* semakin penting seiring dengan populasi global yang semakin berkembang, peningkatan permintaan hasil pertanian, kebutuhan akan penggunaan sumber daya alam yang efisien, serta meningkatnya penggunaan teknologi canggih [4], [5].

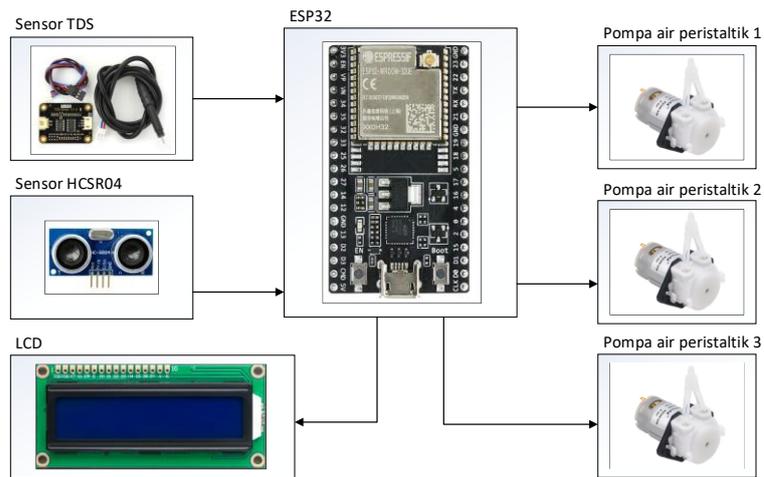
Salah satu bidang yang saat ini banyak dikembangkan ke arah *Smart Farming* adalah teknik bercocok tanam hidroponik. Hidroponik adalah metode budidaya tanaman tanpa tanah [6]. Saat ini perusahaan yang bergerak di bidang pangan atau pertanian banyak menggunakan teknik hidroponik. Hal tersebut disebabkan karena teknik hidroponik memiliki kelebihan, diantaranya: irigasi dan pemupukan dapat dilakukan secara otomatis, dapat menghemat tenaga kerja, lingkungan budidaya yang dapat dengan mudah dijaga kebersihannya, dan memungkinkan pembudidaya untuk membuat model budidaya yang lebih optimal seperti tempat bercocok tanam yang bersusun. Selain itu teknik bercocok tanam hidroponik juga banyak dilakukan dalam skala kecil sebagai hobi di kalangan masyarakat [7]. Selain untuk memenuhi kebutuhan pangan keluarga juga sebagai sarana rekreasi dan menghilangkan stress.

Agar tanaman hidroponik dapat tumbuh subur dan sehat, maka air yang akan mengalir di sepanjang media tanam hidroponik perlu ditambahkan nutrisi

atau mineral penting yang dibutuhkan tanaman. Terdapat 16 mineral yang dibutuhkan yaitu 9 unsur mayor (C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, dan S) dan 7 unsur minor (Fe, Cu, Zn, Mn, Mo, B, dan Cl). 13 elemen di dalamnya tidak termasuk C, H, dan O karena telah didapatkan dari air dan CO₂ [6]. Jumlah nutrisi yang terlarut di dalam air harus dalam takaran yang sesuai dengan kebutuhan jenis tanaman hidroponik yang ditanam. Kekurangan atau kelebihan nutrisi akan menimbulkan masalah pada tanaman. Olehnya itu penting untuk mengontrol jumlah nutrisi terlarut dalam air hidroponik. Masalah lain yang juga perlu disadari adalah penggunaan air nutrisi dalam waktu lama dapat menimbulkan akumulasi ion beracun yang menurunkan kualitas air [8].

Saat ini terdapat banyak penelitian berkaitan dengan pengembangan sistem kontrol nutrisi hidroponik. Penelitian hidroponik berbasis *Internet of Things* dan *Deep Neural Network* pernah dikembangkan [9]. Penelitian tersebut memiliki 3 kontribusi utama yaitu pengembangan prototipe sistem kontrol hidroponik berbasis *Internet of Things*, pengembangan kecerdasan dalam sistem kontrol dan implementasi *Deep Neural Network* di *cloud* terhadap klasifikasi kontrol berdasarkan data yang diperoleh dari sensor yang tertanam pada media tanam hidroponik. Penelitian ini dinyatakan cukup baik dalam mengontrol kondisi lingkungan media tanam hidroponik seperti PH, cahaya, pompa, kipas dan nutrisi. Penelitian lain terkait sistem monitoring kondisi lingkungan media tanam hidroponik juga telah dilakukan [10]. Penelitian ini juga memanfaatkan IoT dalam memonitoring PH, ketinggian air, temperatur dan kelembaban udara secara *real-time*. Data yang terkumpul kemudian disimpan dan diolah menggunakan *Deep Neural Network* untuk memprediksi dan mengontrol sistem media tanam secara otomatis.

Dalam pengembangan lainnya, sistem hidroponik dikombinasikan dengan aquaponik. Kondisi lingkungan media tanam seperti suhu air dan udara serta hal penting lainnya dimonitoring secara *real-time* menggunakan perangkat IoT [11]. Penelitian lainnya mengembangkan *Nutrition Film Technique* (NFT) pertanian hidroponik untuk *Smart Farming* [12]. Dalam penelitian tersebut, sistem hidroponik cerdas dirancang dan diimplementasikan untuk mengotomatisasi proses pertumbuhan tanaman menggunakan model Jaringan Bayesian. Sensor dan aktuator dipasang untuk memantau dan mengontrol parameter seperti intensitas cahaya, PH, konduktivitas listrik, suhu air, dan kelembaban relatif. Nilai sensor yang dikumpulkan digunakan dalam membangun Jaringan Bayesian, yang mengklasifikasikan dan memprediksi nilai optimal di setiap aktuator untuk mengontrol pertanian hidroponik. Namun, pengembangan-pengembangan yang dilakukan belum berfokus kepada pengontrolan nutrisi secara optimal. Sistem kontrol nutrisi



Gambar 1. Rancangan perangkat ssstem kontrol nutrisi hidroponik yang dikembangkan

tanaman hidroponik sebelumnya masih menggunakan metode konvensional yaitu berupa penggunaan *rule base* dengan nilai tegas. Hal tersebut berpotensi mengakibatkan penentuan penambahan nutrisi tidak presisi dan cenderung berlebih. Selain itu, penentuan nutrisi tanpa mempertimbangkan volume dan lama penggunaan air juga berpotensi mengakumulasi ion beracun dalam air.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk membangun sebuah model baru untuk sistem kontrol adaptif nutrisi selada hidroponik berbasis *Fuzzy Logic* metode Sugeno menggunakan ESP32. Model yang dibuat mengadopsi model inferensi *Fuzzy Logic* metode Sugeno dalam penentuan jumlah takaran nutrisi berdasarkan data pendukung yang diperoleh dari sensor yang terpasang pada media tanam hidroponik. Model inferensi dalam sistem kontrol ini berkontribusi dalam hal pengontrolan nutrisi tanaman hidroponik dengan lebih adaptif dan presisi sehingga tanaman hidroponik dapat tumbuh subur dengan penggunaan nutrisi yang optimal.

2. METODE PENELITIAN

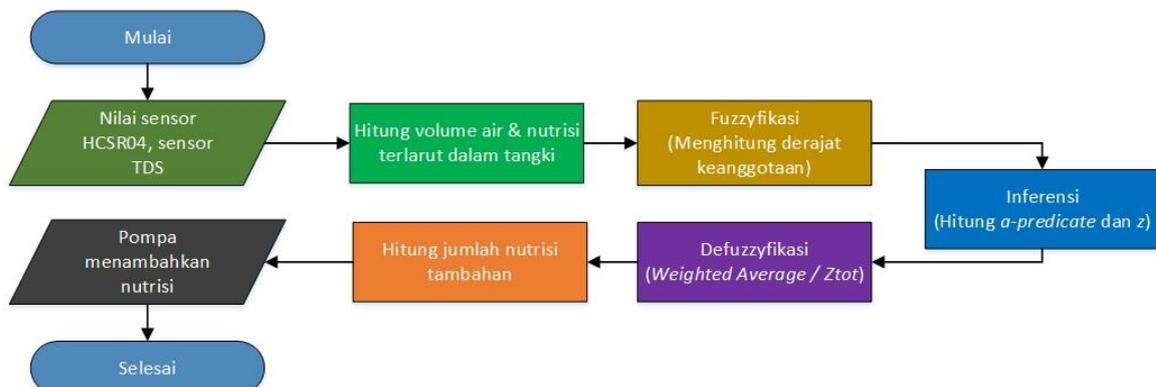
2.1 Rancangan perangkat keras

Model inferensi berbasis *Fuzzy Logic* Sugeno yang didesain diterapkan pada perangkat keras yang

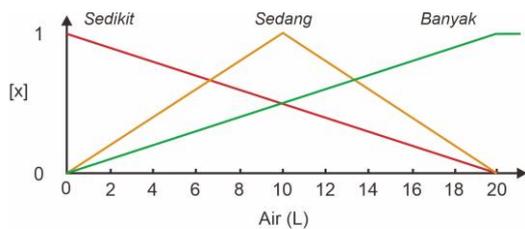
telah dibangun. Perangkat keras ini bertugas untuk membaca data dari media tanam hidroponik dan menambahkan nutrisi secara otomatis sesuai hasil perhitungan model yang diusulkan. Seperti terlihat pada Gambar 1, dapat diketahui bahwa terdapat 3 komponen utama dalam perangkat ini yaitu, ESP32 sebagai pemroses, sensor HC-SR04 dan *Total Dissolved Solids* (TDS) sebagai perangkat pembaca data (*input*), dan LCD serta pompa air peristaltik sebagai perangkat keluaran (*output*).

Model inferensi berbasis *Fuzzy Logic* metode Sugeno yang telah dikodekan ditanam pada ESP32 sebagai perangkat pemroses. Selanjutnya sensor TDS akan membaca tingkat kepadatan nutrisi terlarut dalam tangki air media tanam hidroponik. Selain itu sensor ultrasonik HCSR04 membaca ketinggian air dalam tangki air. Nilai sensor TDS dan sensor ultrasonik kemudian dikirim ke ESP32. Pada ESP32 nilai sensor TDS dan HCSR04 diolah sehingga diperoleh nilai kepadatan nutrisi dalam air dan volume air pada tangki media tanam. Data ini selanjutnya dijadikan sebagai *input* pada mesin inferensi yang digunakan. *Output* berupa jumlah nutrisi yang diperlukan kemudian dikonversi kedalam bentuk lama waktu pompa nutrisi menyala.

2.2 Model inferensi



Gambar 2. Flowchart tahapan sistem kontrol adaptif nutrisi selada hidroponik



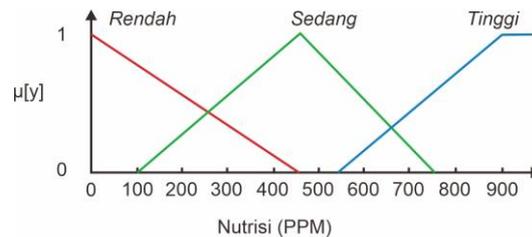
Gambar 3. Himpunan keanggotaan variabel Air

Pada penelitian ini, model inferensi yang dirancang mengadopsi *Fuzzy Logic* metode Sugeno. Model yang digunakan didesain sedemikian rupa sehingga dapat menghasilkan *output* yang diharapkan. Metode *Fuzzy Logic* adalah suatu metode yang digunakan untuk memetakan suatu *output* berdasarkan *input* yang diberikan melalui proses inferensi. Jika sistem yang menggunakan cara konvensional mendapatkan *output* dari sistem berupa nilai tunggal yang tegas, sistem dengan inferensi *Fuzzy Logic* menghasilkan *output* yang lebih adaptif.

Kelebihan dari *Fuzzy Logic* adalah kemampuannya untuk beradaptasi dengan mudah terhadap penambahan variabel baru dalam proses inferensinya. Kelebihan tersebut akhirnya banyak dimanfaatkan mulai dari sistem kontrol perangkat elektronik [13], [14], *data mining* [15], hingga citra digital [16], [17] dan *computer vision* [18].

Secara umum, metode yang diusulkan untuk menentukan seberapa besar penambahan nutrisi yang dilakukan terhadap tanaman hidroponik dapat dilihat pada Gambar 2. Tahap pertama yang dilakukan adalah membaca nilai sensor yang telah dipasang pada media tanam hidroponik dengan memanfaatkan perangkat ESP32. Adapun sensor yang dimaksud adalah sensor ultrasonik HC-SR04 dan sensor *Gravity TDS Meter V1.0*. Sensor HC-SR04 biasanya digunakan pada robot untuk mengukur jarak benda di depannya [19], namun pada penelitian ini sensor HCSR-04 dimanfaatkan untuk mengukur ketinggian air. Adapun sensor *Gravity TDS Meter V1.0* digunakan untuk mengukur tingkat kepadatan nutrisi terlarut dalam air. Pada tahap kedua, kedua nilai yang diperoleh dari sensor tersebut terlebih dahulu diolah sehingga bisa diperoleh nilai volume air dan nutrisi terlarut dalam air untuk kemudian dijadikan nilai *input* pada model inferensi yang dikembangkan.

Tahap ketiga adalah dilakukan proses Fuzzifikasi. Tahap Fuzzifikasi adalah tahap dimana nilai volume air dan kepadatan nutrisi terlarut dalam air diukur derajat keanggotaannya untuk setiap fungsi keanggotaan himpunan yang ada. Sebelumnya telah ditentukan himpunan dan fungsi keanggotaan untuk nilai volume air dan nutrisi. Adapun fungsi keanggotaan untuk himpunan volume air dapat dilihat pada Gambar 3. Dapat diketahui fungsi keanggotaan himpunan Sedikit, Sedang, dan Banyak untuk variabel Air secara berturut-turut dapat dilihat pada persamaan (1-3).



Gambar 4. Himpunan keanggotaan variabel Nutrisi

$$\mu_{Sedikit}[x] = \begin{cases} \frac{20-x}{20-0}; & 1 \leq x \leq 20 \\ 0; & x \geq 20, \end{cases}$$

$$\mu_{Sedang}[x] = \begin{cases} 0; & x \leq 0 \text{ atau } x \geq 20 \\ \frac{x-0}{10-0}; & 0 \leq x \leq 10 \\ \frac{20-x}{20-10}; & 10 \leq x \leq 20, \end{cases}$$

$$\mu_{Banyak}[x] = \begin{cases} 0; & x \leq 0 \\ \frac{x-0}{20-0}; & 10 \leq x \leq 20 \\ 1; & x \geq 20, \end{cases}$$

dimana x adalah nilai yang diperoleh dari sensor ketinggian air. Nilai tersebut akan dihitung derajat keanggotaannya terhadap himpunan Sedikit ($\mu_{Sedikit}[x]$), Sedang ($\mu_{Sedang}[x]$), dan Banyak ($\mu_{Banyak}[x]$) dari variabel Air.

Selanjutnya adapun fungsi keanggotaan untuk himpunan Nutrisi dapat dilihat pada Gambar 4. Berdasarkan gambaran yang diberikan pada Gambar 4, maka fungsi keanggotaan himpunan Rendah, Sedang, dan Tinggi untuk variabel Nutrisi secara berturut-turut dapat dilihat pada persamaan (4-6).

$$\mu_{Rendah}[y] = \begin{cases} \frac{450-y}{450-0}; & 1 \leq x \leq 450 \\ 0; & x \geq 450, \end{cases}$$

$$\mu_{Sedang}[y] = \begin{cases} 0; & y \leq 100 \text{ atau } y \geq 750 \\ \frac{y-100}{450-100}; & 100 \leq y \leq 450 \\ \frac{750-y}{750-450}; & 450 \leq y \leq 750 \end{cases}$$

$$\mu_{Tinggi}[y] = \begin{cases} 0; & y \leq 540 \\ \frac{y-540}{900-540}; & 540 \leq y \leq 900 \\ 1; & y \geq 900, \end{cases}$$

dimana y adalah nilai yang diperoleh dari sensor TDS. Nilai tersebut akan dihitung derajat keanggotaannya terhadap himpunan Rendah ($\mu_{Rendah}[y]$), Sedang ($\mu_{Sedang}[y]$), dan Banyak ($\mu_{Tinggi}[y]$) dari variabel Nutrisi. Adapun untuk variabel Penambahan Nutrisi terbagi atas tiga himpunan keanggotaan yaitu Sedikit dengan nilai konstan 0, Sedang dengan nilai 0.2, dan Banyak dengan nilai 1.

Selanjutnya, tahap keempat adalah melakukan proses inferensi dengan menerapkan nilai derajat keanggotaan terhadap *rule base* yang telah

ditentukan sebelumnya. Pada metode yang diusulkan ini, *rule base* yang telah dirumuskan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rule base metode yang diusulkan

No	Rule Base
1	IF (Air is Sedikit) and (Nutrisi is Rendah) then (Penambahan Nutrisi is Banyak)
2	IF (Air is Sedikit) and (Nutrisi is Sedang) then (Penambahan Nutrisi is Sedang)
3	IF (Air is Sedikit) or (Nutrisi is Tinggi) then (Penambahan Nutrisi is Sedikit)
4	IF (Air is Sedang) and (Nutrisi is Rendah) then (Penambahan Nutrisi is Banyak)
5	IF (Air is Sedang) and (Nutrisi is Sedang) then (Penambahan Nutrisi is Sedang)
6	IF (Air is Sedang) and (Nutrisi is Tinggi) then (Penambahan Nutrisi is Sedikit)
7	IF (Air is Banyak) and (Nutrisi is Rendah) then (Penambahan Nutrisi is Banyak)
8	IF (Air is Banyak) and (Nutrisi is Sedang) then (Penambahan Nutrisi is Sedang)
9	IF (Air is Banyak) and (Nutrisi is Tinggi) then (Penambahan Nutrisi is Sedikit)
10	IF (Air is Sedikit) and (Nutrisi is Sedang) then (Penambahan Nutrisi is Banyak)
11	IF (Air is Sedang) and (Nutrisi is Sedang) then (Penambahan Nutrisi is Banyak)
12	IF (Air is Banyak) and (Nutrisi is Sedang) then (Penambahan Nutrisi is Banyak)

Pada proses inferensi, nilai *a-predikat_i* (*fire strength*) setiap *rule base* ke-*i* diperoleh dengan menggunakan fungsi *min* untuk *rule base* yang menggunakan operator *and* dan *max* untuk *rule base* yang menggunakan operator *or*. Selain itu, nilai *z* untuk setiap *rule base* ditentukan berdasarkan nilai derajat keanggotaan konstan yang telah ditentukan sebelumnya (Sedikit dengan nilai 0, Sedang dengan nilai 0.2, dan Banyak dengan nilai 1).

Setelah proses inferensi dilakukan, maka akan diperoleh derajat keanggotaan (*a-predikat*) dan *z* untuk setiap *rule base*. Nilai tersebut menjadi dasar untuk pengekskusiian tahap kelima. Tahap kelima adalah tahap Defuzzifikasi yaitu tahap yang dilakukan untuk mendapatkan *output* berdasarkan nilai *a-predikat* dan *z* setiap aturan. Pada tahap ini nilai *output* keseluruhan (*Ztot*) diperoleh dengan menggunakan metode *Weighted Average of All Rule Outputs* yang ditunjukkan pada persamaan (7). Artinya, nilai *output* diperoleh dengan menghitung rata-rata seluruh nilai untuk setiap *output rule base*. Pada tahapan ini akan diperoleh nilai *output* (*Ztot*) dengan *range* 0 hingga 1. Akhirnya, nilai penambahan nutrisi pada tahap keenam diperoleh dengan menggunakan persamaan (8).

$$Z_{tot} = \frac{a-pred_1 * z_1 + a-pred_2 * z_2 + \dots + a-pred_{12} * z_{12}}{a-pred_1 + a-pred_2 + \dots + a-pred_{12}}$$

$$Nutrisi\ Tambahan = Z_{tot} * 800$$

Pada tahap ketujuh, nilai nutrisi tambahan kemudian dijadikan nilai *input* untuk memerintahkan pompa pada ESP32, memompa nutrisi sesuai jumlah yang diperoleh dari model yang diusulkan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini telah dilakukan serangkaian ujicoba terhadap metode yang diusulkan. Ujicoba pertama dilakukan terhadap perangkat keras seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Ujicoba ini dilakukan untuk mengetahui akurasi pembacaan volume air pada tangki. Untuk mengetahui volume air pada tangki, digunakan sensor ultrasonik HC-SR04. Sensor HC-SR04 membaca ketinggian air pada tangki. Selanjutnya nilai ketinggian yang diperoleh digunakan untuk mengetahui volume air di dalam tangki. Adapun hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 2.

Berdasarkan hasil pengujian yang disajikan pada Tabel 2, dapat diketahui bahwa rata-rata selisih antara pembacaan sensor dan jumlah air yang sebenarnya sebesar 0,113 liter. Nilai selisih terendah diperoleh pada saat jumlah air sebenarnya sebanyak 7,5 liter air dan selisih terbesar pada saat jumlah air sebesar 19,5 liter. Jika diperhatikan, nilai selisih cenderung lebih besar saat jumlah air pada tangki lebih besar dari 8 liter air. Setelah melakukan pengamatan, hal tersebut salah satunya disebabkan karena berubahnya bentuk tangki air saat memperoleh beban tampungan air yang besar. Tangki air yang digunakan terbuat dari bahan plastik yang cukup elastis. Perubahan bentuk tangki air mempengaruhi pembacaan jarak sensor terhadap permukaan air. Hal tersebut mengakibatkan ketidakkonsistenan pembacaan ketinggian air.

Tabel 2. Hasil pengujian pembacaan volume air menggunakan sensor HC-SR04

No	Volume air (L)		Error (L)
	Manual	Sensor	
1	0,000	0,000	0,000
2	1,500	1,550	0,050
3	3,000	3,010	0,010
4	4,500	4,560	0,060
5	6,000	6,130	0,130
6	7,500	7,500	0,000
7	9,000	9,030	0,030
8	10,500	10,650	0,150
9	12,000	12,040	0,040
10	13,500	13,630	0,130
11	15,000	14,690	0,310
12	16,500	16,370	0,130
13	18,000	18,040	0,040
14	19,500	19,110	0,390
15	21,000	21,230	0,230
Rata-rata selisih			0,113

$$(8)$$



Gambar 5. Pengujian perangkat keras yang dikembangkan

Selanjutnya dilakukan pengujian terhadap akurasi pembacaan sensor TDS. Pada penelitian ini digunakan sensor *Gravity TDS Meter V1.0*. Sebelum sensor digunakan, terlebih dahulu sensor dikalibrasi dengan TDS Meter TDS-3 agar nilai pembacaan sensor tidak memiliki selisih yang besar. Pengujian dilakukan dengan mengambil nilai sensor sebanyak 3 kali untuk setiap percobaan. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian sensor TDS Meter V1.0

No	Konsentrasi Nutrisi Dalam Air					Error (PPM)
	Manual (PPM)	Sensor (PPM)			Rata-Rata	
		Pembacaan 1	Pembacaan 2	Pembacaan 3		
1	300	320	322	318	320,00	20,00
2	244	268	266	260	264,67	20,67
3	551	559	575	565	566,33	15,33
4	891	912	911	917	913,33	22,33
5	734	753	757	750	753,33	19,33
6	696	710	716	723	716,33	20,33
Rata-rata error						19,67

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada Tabel 3, dapat diketahui bahwa rata-rata selisih antara nilai hasil pembacaan sensor dan nilai hasil pembacaan TDS meter digital sebesar 19,67 PPM. Dalam pembacaan nilai sensor, nilai yang diperoleh cenderung berubah-ubah sehingga dilakukan 3 kali percobaan untuk setiap pengujian, ketiga nilai dirata-ratakan lalu kemudian dihitung selisihnya dengan nilai yang diperoleh menggunakan TDS meter digital.

Selanjutnya, dilakukan pengujian terhadap model inferensi yang diusulkan. Pada pengujian ini *output* berupa jumlah nutrisi yang akan ditambahkan berdasarkan model yang diusulkan dibandingkan dengan model konvensional (menggunakan *if-then* biasa). Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel. 4.

Berdasarkan hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4, dapat diketahui bahwa model yang diusulkan cenderung memberikan rekomendasi tambahan nutrisi lebih kecil dibandingkan dengan metode konvensional saat volume air dan nutrisi air dalam tangki lebih rendah. Seperti terlihat pada hasil percobaan pertama, saat volume air sebesar 2,5 L dan nutrisi sebesar 100 PPM, metode yang diusulkan

merekomendasikan penambahan nutrisi yang lebih kecil dibandingkan dengan metode konvensional. Selain itu, semakin tinggi kandungan nutrisi dalam air, maka rekomendasi penambahan nutrisi juga semakin mengecil.

Hal tersebut sejalan dengan pengaturan jumlah air pada saat masa awal penanaman selada, dimana daya serap air dan nutrisi tanaman selada masih sedikit. Oleh sebab itu, pada masa ini biasanya

Tabel 4. Pengujian model usulan dalam pengontrolan nutrisi

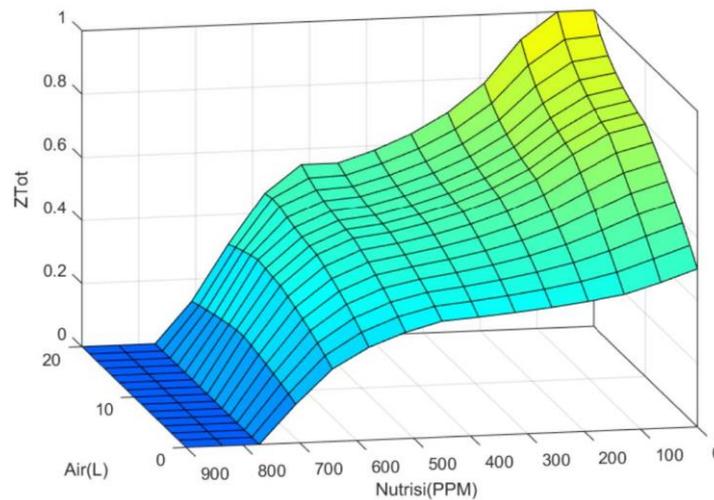
No	Nilai Sensor		Penambahan Nutrisi (PPM)	
	Jumlah air (L)	Nutrisi (PPM)	Metode usulan	Metode Konvensional
1	2,5	100	420,8	700
2	5,3	235	417,6	565
3	7,6	411	384	389
4	9,1	735	56,96	65
5	11	809	0	100
6	14	740	33,84	60
7	14,5	250	495,2	550
8	16,2	447	412,8	353
9	18,9	613	312	187
10	20	750	0	60

jumlah air yang disediakan dalam tangki volumenya kecil namun digunakan dalam waktu yang lama. Dalam kondisi seperti ini, menambah nutrisi dalam jumlah besar atau berlebih justru akan meningkatkan kemungkinan menumpuknya ion beracun di dalam air.

Sebaliknya, semakin besar volume air maka rekomendasi volume nutrisi yang ditambahkan semakin besar. Biasanya volume air yang besar akan

disediakan saat daya serap selada hidroponik juga besar (Saat usianya semakin tua, daunnya semakin melebar, dan akarnya semakin banyak). Dalam kondisi tersebut tentu kebutuhan air dan nutrisi semakin besar.

Misalnya, jika volume air adalah 18,6 L dan nutrisi pada kisaran 613 PPM, metode usulan merekomendasikan penambahan nutrisi yang lebih besar dibandingkan metode konvensional. Namun, rekomendasi tersebut juga tetap menyesuaikan dengan nilai nutrisi pada tangki air. Semakin besar nutrisi pada tangki air, maka semakin kecil pula rekomendasi penambahan nutrisinya.



Gambar 6. *Surfaceview* berdasarkan fungsi keanggotaan dan *rule base* yang digunakan

Nilai yang direkomendasikan dari model yang diusulkan tersebut menunjukkan bahwa metode yang diusulkan mampu beradaptasi dengan kondisi air dan nutrisi. Selain itu juga sekaligus mencegah kurangnya nutrisi akibat ketidakakuratan sensor dan pompa yang mungkin terjadi.

Selain itu juga dapat dilihat bahwa saat jumlah nutrisi lebih besar atau sama dengan 750 PPM dengan volume air penuh, maka penambahan nutrisi tidak dilakukan. Hal berbeda ditunjukkan dari hasil metode konvensional dimana saat nutrisi telah melewati nilai 750 PPM, penambahan nutrisi tetap dilakukan sehingga berpotensi mengakibatkan penggunaan nutrisi yang tidak optimal. Metode yang diusulkan tidak lagi melakukan penambahan karena nilai nutrisi sudah berada pada kandungan nutrisi ideal kebutuhan nutrisi selada hidroponik.

Perlu diketahui bahwa tanaman selada memiliki kecepatan daya serap air sesuai dengan lebar daun dan banyak akarnya. Selada dengan usia 1 minggu setelah semai memiliki daya serap air yang masih rendah. Daya serapnya semakin meningkat seiring semakin melebarnya daun yang dimiliki. Pada percobaan yang telah dilakukan dan diamati, tanaman selada dengan daun lebar pada media tanam dengan 36 lubang tanam mampu menghabiskan 5-10 liter air dalam waktu 24 jam. Berbeda saat daunnya masih kecil, air sebanyak 30 liter tidak habis dalam waktu 1 hingga 2 minggu

lebih. Hal ini kemudian berpotensi mengakibatkan terakumulasinya ion beracun yang lebih banyak jika nutrisi terus diberikan dalam jumlah besar hanya dengan memperhitungkan nilai ambang yang telah ditentukan.

Berdasarkan output penambahan nutrisi yang diperoleh dari beberapa sampel hasil pengujian tersebut dapat diketahui bahwa metode yang diusulkan dapat menentukan penambahan nutrisi ke dalam air hidroponik secara adaptif terhadap banyaknya volume air. Kelebihan lainnya adalah bahwa metode yang diusulkan cenderung memberikan keputusan penambahan nutrisi yang

lebih sedikit saat volume air pada tangki air juga sedikit. Hal tersebut kemudian diharapkan dapat mencegah akumulasi ion beracun yang lebih banyak.

Secara keseluruhan, berdasarkan fungsi keanggotaan dan *rule base* yang telah dibentuk, dapat diketahui *surfaceview output* dari metode yang diusulkan seperti ditunjukkan pada Gambar 6. *Surfaceview* ini juga dapat menjadi gambaran keseluruhan dari pengujian yang dilakukan. Gambar 6 menunjukkan jumlah penambahan nutrisi beradaptasi dengan volume air yang tersedia sekaligus memberikan gambaran bentuk adaptasi system yang diusulkan dalam mengoptimalkan nilai penambahan nutrisi.

4. DISKUSI

Dalam bidang hidroponik, sistem kontrol nutrisi adalah salah satu bagian yang sering diteliti. Hal tersebut disebabkan karena jumlah kepadatan nutrisi dalam air tanaman hidroponik sangatlah penting.

Penelitian terkait sistem kontrol nutrisi *Floating Hydroponic System* telah dilakukan sebelumnya [20]. Metode yang diusulkan berupa penerapan sistem kontrol nutrisi dengan menentukan nilai ambang nutrisi secara langsung. Selain itu juga pernah diusulkan sistem nutrisi tanaman hidroponik berbasis IoT menggunakan NodeMCU ESP8266

[21]. Metode yang diusulkan juga menentukan penambahan nutrisi berdasarkan nilai *threshold* yang ditentukan secara langsung. Penelitian lainnya yaitu sistem kendali jumlah zat padat terlarut pada larutan nutrisi menggunakan alat CCT53200E [22]. Metode yang diusulkan juga menerapkan nilai *threshold* untuk mengontrol penambahan air dan nutrisi.

Ketiga metode tersebut masih menggunakan metode konvensional dimana penambahan nutrisi hanya didasarkan pada nilai *threshold* secara tegas tertentu tanpa mempertimbangkan kuantitas dan kualitas air. Padahal penggunaan air nutrisi yang sama dalam waktu yang lama disertai penambahan nutrisi terus menerus akan membentuk akumulasi ion beracun yang menurunkan kualitas air [8].

Oleh karena itu pada penelitian ini dimodelkan sistem kontrol baru berbasis *Fuzzy Logic* metode Sugeno untuk mengontrol penambahan nutrisi air secara adaptif dengan memperhatikan volume air yang tersedia.

5. KESIMPULAN

Pada penelitian ini model baru untuk sistem kontrol adaptif nutrisi selada hidroponik berbasis *Fuzzy Logic* metode Sugeno menggunakan ESP32 dikerjakan. Rule base didesain sedemikian rupa sehingga dapat menghasilkan *output* penambahan nutrisi secara adaptif yang menyesuaikan terhadap tingkat nutrisi, kuantitas dan kualitas air, serta kemungkinan ketidakakuratan pembacaan sensor. Metode yang diusulkan dibandingkan dengan metode konvensional. Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode yang diusulkan dapat menyesuaikan jumlah nutrisi yang ditambahkan dengan lebih adaptif, memberikan *output* penambahan nutrisi yang lebih optimal, dan mencegah berlebihnya penambahan nutrisi dibandingkan dengan metode konvensional untuk mencegah akumulasi ion negatif yang lebih banyak pada air.

Hal lain yang masih perlu dilakukan kajian mendalam adalah terkait pengontrolan PH air hidroponik. PH air pada hidroponik berubah seiring bertambah atau berkurangnya air pada tangki. Selain itu jumlah nutrisi yang ditambahkan di dalam air juga mempengaruhi perubahan PH air. Semakin tinggi nutrisi yang ditambahkan maka PH air cenderung berkurang, sedang PH air harus berada pada kisaran kebutuhan tanaman hidroponik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Tomar and G. Kaur, *Artificial Intelligence and IoT-Based Technologies for Sustainable Farming and Smart Agriculture*. United States of America: IGI Global, 2021.
- [2] FAO, "Global Agriculture Towards 2050," 2019, doi: 10.5822/978-1-61091-885-5.
- [3] Rasna and S. Nur Alam, "Smart Farming Berbasis IOT Pada Tanaman Cabai Untuk Pengendalian dan Monitoring Kelembaban Tanah Dengan Metode Fuzzy," *J. Teknol. dan Sist. Tertanam*, vol. 03, no. 01, pp. 25–35, 2022.
- [4] R. P. Astutik, "Aplikasi Telegram Untuk Sistem Monitoring pada Smart Farming," *J. Teknol. dan Terap. Bisnis*, vol. 2, no. 1, pp. 1–6, 2019.
- [5] C. Bernstein, "Smart Farming," *Techtarget.com*, 2019. .
- [6] T. Wada, "Theory and Technology to Control the Nutrient Solution of Hydroponics," in *Plant Factory Using Artificial Light: Adapting to Environmental Disruption and Clues to Agricultural Innovation*, Elsevier Inc., 2018, pp. 5–14.
- [7] R. Kusumastuti *et al.*, "Akuntansi Proses Bisnis Sayuran Hidroponik Kelompok Warga di Kecamatan Jambi Luar Kota 1,2,3,4," *J. Inovasi, Teknol. dan Dharma Bagi Masy.*, vol. 3, no. 3, pp. 64–70, 2021, [Online]. Available: <https://online-journal.unja.ac.id/JITDM/article/view/16377/12357>.
- [8] M. D. Sardare and S. V Admane, "A Review on Plant Without Soil - Hydroponics," *Int. J. Res. Eng. Technol.*, vol. 02, no. 03, pp. 299–304, 2013, doi: 10.15623/ijret.2013.0203013.
- [9] M. Mehra, S. Saxena, S. Sankaranarayanan, R. J. Tom, and M. Veeramanikandan, "IoT based hydroponics system using Deep Neural Networks," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 155, no. October, pp. 473–486, 2018, doi: 10.1016/j.compag.2018.10.015.
- [10] C. H. Vanipriya, Maruyi, S. Malladi, and G. Gupta, "Artificial intelligence enabled plant emotion xpresser in the development hydroponics system," *Mater. Today Proc.*, vol. 45, pp. 5034–5040, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2021.01.512.
- [11] S. Zhang *et al.*, "Investigation on environment monitoring system for a combination of hydroponics and aquaculture in greenhouse," *Inf. Process. Agric.*, no. xxxx, 2021, doi: 10.1016/j.inpa.2021.06.006.
- [12] M. I. Alipio, A. E. M. Dela Cruz, J. D. A. Doria, and R. M. S. Fruto, "On the design of Nutrient Film Technique hydroponics farm for smart agriculture," *Eng. Agric. Environ. Food*, vol. 12, no. 3, pp. 315–324, 2019, doi: 10.1016/j.eaef.2019.02.008.
- [13] S. S. Hasanah, A. H. Miry, and T. M. Salman, "Air Pollution Monitoring based Fuzzy Controller with Embedded System," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2021, vol. 1879, no. 2, p. 22085.
- [14] F. Prasetyawan and L. Anifah, "Sistem Kontrol Suhu Ketel Elektrik Menggunakan Metode Logika Fuzzy Sugeno Berbasis ESP8266 dengan Komunikasi Internet Of Things (IoT)," *J. Inf. Eng. Educ. Technol.*,

- vol. 5, no. 1, pp. 5–12, 2021, doi: 10.26740/jieet.v5n1.p5-12.
- [15] R. Santhosh and M. Mohanapriya, “Generalized fuzzy logic based performance prediction in data mining,” *Mater. Today Proc.*, vol. 45, pp. 1770–1774, 2021.
- [16] M. Khairudin, S. Yatmono, A. C. Nugraha, M. Ikhsani, A. Shah, and M. L. Hakim, “Object Detection Robot Using Fuzzy Logic Controller Through Image Processing,” in *Journal of Physics: Conference Series*, 2021, vol. 1737, no. 1, p. 12045.
- [17] A. B. Kaswar, A. Z. Arifin, and A. Y. Wijaya, “Segmentasi Citra Ikan Tuna dengan Mahalanobis Histogram Thresholding dan Mahalanobis Fuzzy C-Means,” *J. Buana Inform.*, vol. 7, no. 3, pp. 197–204, 2016.
- [18] V. Shepelev, A. Glushkov, T. Bedych, T. Gluchshenko, and Z. Almetova, “Predicting the traffic capacity of an intersection using fuzzy logic and computer vision,” *Mathematics*, vol. 9, no. 20, p. 2631, 2021.
- [19] F. Safitri, M. Amin, and I. Almeina Lubis, “Mosque Rug Sterilization Robot Using Ultraviolet C Light With Interface Hc-05 and Ultrasonic,” *J. Tek. Inform.*, vol. 3, no. 3, pp. 649–655, 2022, [Online]. Available: <https://doi.org/10.20884/1.jutif.2022.3.3.256>.
- [20] A. Kurniawan and H. A. Lestari, “SISTEM KONTROL NUTRISI FLOATING HYDROPONIC SYSTEM KANGKUNG (*Ipomea reptans*) MENGGUNAKAN INTERNET OF THINGS BERBASIS TELEGRAM,” *J. Tek. Pertan. Lampung (Journal Agric. Eng.)*, vol. 9, no. 4, p. 326, 2020, doi: 10.23960/jtep-l.v9i4.326-335.
- [21] A. Heryanto, J. Budiarto, and S. Hadi, “Sistem Nutrisi Tanaman Hidroponik Berbasis Internet Of Things Menggunakan NodeMCU ESP8266,” *J. BITE*, vol. 2, no. 1, pp. 31–39, 2020, doi: 10.30812/bite.v2i1.805.
- [22] S. I. Kuala, Y. H. Siregar, and N. D. Susanti, “Sistem Kendali Jumlah Zat Padat Terlarut (TDS) Pada Larutan Nutrisi Menggunakan Alat CCT53200E,” *Ris. Teknol. Ind.*, vol. 13, no. 1, pp. 22–32, 2019.

