

Optimalisasi *Smart Watering* Berbasis Iot dengan Kontrol Fuzzy Sugeno untuk Kebutuhan Air dan Nutrisi pada Budidaya Melon Hidroponik di *Greenhouse*

Gina Purnama Insany¹, Imam Sanjaya², Ivana Lucia Kharisma³,
Muhamad Anbiya Fatah⁴, Panji Angkasa Putra⁵, Kamdan⁶

^{1,2,3,4,5,6}Universitas Nusa Putra

Jl. Raya Cibolang no.21Cisaat, Kabupaten Sukabumi, Indonesia
emailkorespondensi@gina.purnama@nusaputra.ac.id

Abstrak

Budidaya melon secara hidroponik di *greenhouse* memiliki tantangan signifikan dalam pengelolaan air dan nutrisi. Sistem irigasi konvensional kurang efisien dalam mendistribusikan air dan nutrisi sesuai dengan kebutuhan tanaman, sehingga mengakibatkan pertumbuhan melon tidak optimal. Berdasarkan permasalahan tersebut, peneliti mengembangkan suatu sistem *smart watering* berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk memantau kebutuhan air dan nutrisi secara otomatis, mengimplementasikan logika fuzzy sugeno sebagai kontrol sistem cerdas yang mengolah data sensor (pH, suhu dan TDS) untuk takaran optimal pemberian air dan nutrisi. Metode penelitian ini metode kuantitatif-eksperimen dengan pendekatan IoT dan kontrol fuzzy sugeno. Sistem *smart watering* dikembangkan menggunakan sensor pH, suhu, dan *Total Dissolved Solids* (TDS) yang terhubung ke ESP32 mikrokontroler berbasis IoT. Data yang diperoleh diolah menggunakan algoritma *fuzzy logic* untuk menentukan jumlah air dan nutrisi yang diberikan kepada tanaman melon secara *real-time*. Pengujian dilakukan dalam lingkungan *greenhouse* dengan perbandingan antara sistem konvensional dan sistem berbasis fuzzy. Parameter yang diukur meliputi efisiensi penggunaan air, pertumbuhan tanaman (tinggi, jumlah daun, dan bobot buah), serta kestabilan pH dan nutrisi dalam larutan hidroponik. Hasil pengujian menunjukkan kebutuhan air dan nutrisi pada kategori baik (51%-75%) di fase vegetatif dan cenderung berfluktuasi pada kategori cukup (26%-50%) di fase generatif. Pertumbuhan tanaman melon menunjukkan hasil yang lebih baik, dimana tinggi daun berselisih 1 cm dan bobot melon lebih besar 0,4 kg dibanding sistem konvensional.

Kata kunci: *Smart_Watering*; IoT; Fuzzy_Sugeno; Melon_Hidroponik; *Greenhouse*.

Abstract

Hydroponic melon cultivation in a greenhouse presents significant challenges in water and nutrient management. Conventional irrigation systems are less efficient in distributing water and nutrients according to plant needs, resulting in suboptimal melon growth. Based on these problems, researchers developed an Internet of Things (IoT)-based smart watering system to automatically monitor water and nutrient needs, implementing Sugeno fuzzy logic as an intelligent system control that processes sensor data (pH, temperature, and TDS) for optimal water and nutrient dosage. This research method is a quantitative-experimental method with an IoT approach and Sugeno fuzzy control. The smart watering system is developed using pH, temperature, and Total Dissolved Solids (TDS) sensors connected to an ESP32 IoT-based microcontroller. The data obtained is processed using a fuzzy logic algorithm to determine the amount of water and nutrients provided to melon plants in real-time. Testing was conducted in a greenhouse environment with a comparison between conventional and fuzzy-based systems. Parameters measured include water use efficiency, plant growth (height, number of leaves, and fruit weight), as well as pH and nutrient stability in the hydroponic solution. The test results show that water and nutrient requirements fall into the good category (51%-75%) during the vegetative phase and tend to fluctuate within the adequate category (26%-50%) during the generative phase. Melon plant growth shows better outcomes, with leaf height differing by 1 cm and melon weight being 0.4 kg higher compared to the conventional system.

Keywords: *Smart_Watering; IoT; Sugeno_Fuzzy; Hydroponic_Melon; Greenhouse*

I. PENDAHULUAN

Industri pertanian berubah untuk merangkul solusi berkelanjutan guna meningkatkan efisiensi sumber daya karena berbagai faktor termasuk pertambahan populasi, perubahan iklim, dan menurunnya lahan pertanian [1]. Penanaman melon secara hidroponik di *greenhouse* merupakan cara penting untuk mengatasi masalah keterbatasan lahan dan meningkatkan efisiensi sumber daya. Hidroponik dengan sistem irigasi tetes telah terbukti efektif untuk memaksimalkan penggunaan air dan nutrisi [2]. Namun, sistem ini masih memiliki kelemahan, seperti ketidakmampuan beradaptasi secara dinamis terhadap perubahan kondisi lingkungan dan kebutuhan tanaman yang bervariasi berdasarkan fase pertumbuhan. Ketidakefisienan pasokan air dan pupuk dapat terjadi akibat hal ini, terutama pada tanaman melon, yang memiliki kebutuhan unik di setiap tahap pertumbuhan [3]. Melalui pemantauan parameter lingkungan secara *real-time* termasuk suhu, pH, dan tingkat nutrisi terlarut (tds), pengembangan teknologi IoT menciptakan prospek untuk meningkatkan presisi budidaya melon [4], [5].

Beberapa penelitian telah menunjukkan tingkat keberhasilan 95,14% untuk pengelolaan nutrisi dan 91,64% untuk pengendalian ketinggian air ketika IoT diimplementasikan untuk sistem pengendalian nutrisi hidroponik berbasis logika fuzzy. Namun, metode ini masih memiliki kekurangan karena teknik fuzzy Mamdani yang kurang efisien secara komputasi dan sedikitnya parameter lingkungan yang dapat dikontrol [6]. Di sisi lain, fuzzy logic sugeno terbukti mampu menyelesaikan masalah non-linier dan ketidakpastian dalam sistem kontrol, seperti pada otomatisasi pemberian pakan ikan lele berdasarkan suhu air [7]. Pendekatan ini memungkinkan pengambilan keputusan adaptif dengan mempertimbangkan beberapa variabel *input*, seperti suhu, kelembaban, pH, dan fase pertumbuhan tanaman [8].

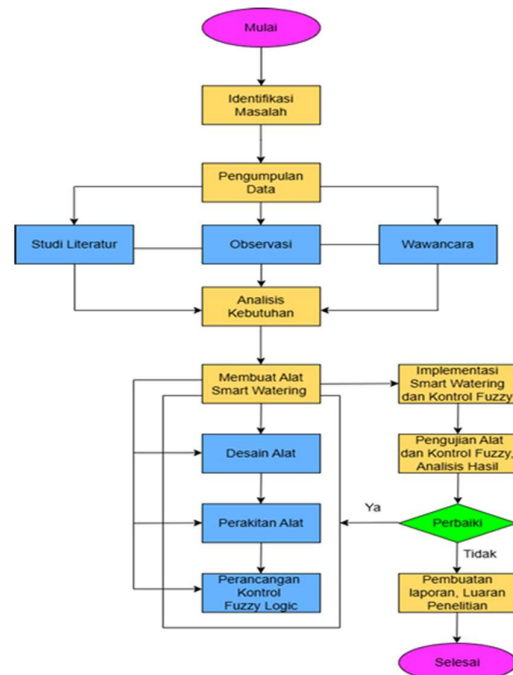
Berdasarkan penelitian relevan, penelitian ini bertujuan merancang alat *smart watering* berbasis IoT yang memantau kebutuhan air dan nutrisi secara otomatis, mengimplementasikan logika fuzzy sugeno sebagai kontrol sistem cerdas pengolah data sensor untuk takaran optimal pemberian air dan nutrisi. Kombinasi IoT dan logika fuzzy sugeno mampu mengatasi keterbatasan sistem konvensional dengan menyesuaikan dosis air dan nutrisi berdasarkan kebutuhan aktual tanaman serta kondisi lingkungan, sehingga meningkatkan efisiensi sumber daya dan produktivitas tanaman melon [9].

Penelitian ini mengusulkan tiga *novelty* berbeda dari penelitian sebelumnya, yaitu:

1. Integrasi IoT dan logika fuzzy multi-variabel untuk hidroponik melon, dimana sistem ini menggabungkan data tiga variabel *input* (suhu, pH dan TDS) dan dua variabel *output* (dosis penambahan air dan dosis nutrisi) dalam satu algoritma fuzzy,
2. Kontrol adaptif berbasis fase pertumbuhan melon, dimana algoritma fuzzy dirancang dengan aturan berbeda untuk setiap fase pertumbuhan melon (vegetatif dan generatif).
3. Sistem *hybrid* IoT-fuzzy untuk optimasi sumber daya dengan mengembangkan sistem yang tidak hanya memantau, tetapi mengoptimalkan penggunaan air dan nutrisi secara presisi melalui fuzzy sugeno.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode Kuantitatif-Eksperimen, dikombinasikan dengan pengembangan sistem IoT berbasis kontrol fuzzy sugeno. Alur penelitian ditunjukkan Gambar 1 berikut:



Gambar 1. Alur penelitian

Gambar 1 menunjukkan alur penelitian melon hidroponik. Alur penelitian dimulai dari identifikasi masalah, pengumpulan data, analisis kebutuhan, perancangan alat IoT, pengujian dan pembuatan laporan/luaran.

Identifikasi kebutuhan penelitian yaitu melakukan observasi dan wawancara ke lokasi penelitian *greenhouse* melon PT. Doa Bangsa Agrobisnis, berada di Kecamatan Cibadak, Kabupaten Sukabumi. Penelitian ini menggunakan 1 (satu) *greenhouse*, ditunjukkan Gambar 2 berikut:



Gambar 2. Greenhouse melon

Gambar 2 menunjukkan *greenhouse* yang digunakan memiliki luas lahan 512m², akan ditanami dua jenis melon (Inthanon Rz dan Sakata) dengan jarak tanam 40cm [10]. Sistem hidroponik menggunakan NFT (*Nutrient Film Technique*). NFT menggunakan pipa untuk mengalirkan larutan nutrisi ke akar tanaman [11].

A. Pengumpulan Data Eksperimen

Data yang dikumpulkan terbagi menjadi 2 tahapan yaitu data fase pertumbuhan vegetatif (HTS ke 1-30) dan fase generatif melon (HTS ke 31-60) terhadap sensor suhu, TDS dan pH selama 60 Hari Setelah Tanam (HTS), dengan penambahan air dan nutrisi di waktu pagi dan sore hari. Kegiatan eksperimen ditunjukkan pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Kegiatan eksperimen melon

Komponen	Deskripsi
Jumlah tanaman sampel	40
Eksperimen 1	Irigasi konvensional
Eksperimen 2	Irigasi sensor IoT
Variabel Bebas	Sistem Irigasi
Variabel Terikat	Efisiensi air, nutrisi
Variabel Kontrol	Larutan AB mix, jam penyiraman,
Frekuensi pengukuran harian	pH, TDS, suhu, volume air dan nutrisi
Frekuensi pengukuran mingguan	Tinggi tanaman dan jumlah daun
Parameter panen	Bobot buah
Parameter fuzzy sugeno	Volume dosis air dan nutrisi

B. Analisis Kebutuhan Alat

Kebutuhan alat pada kebutuhan ini terbagi menjadi 2 yaitu kebutuhan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*).

1) Perangkat Keras

Skema alat perangkat keras, fungsi serta koneksi *device* dijelaskan Tabel 2:

Tabel 2. Skema alat, fungsi, serta koneksi device

No	Nama Alat	Fungsi	Koneksi	Total
1	Esp 32	Mikrokontroler utama	Wi-Fi, UART, 12C, SPI	2
2	pH sensor	Mengukur tingkat keasaman	Analog ke ADC mikrokontroler	2
3	Water temperatur sensor DSB 18B20	Memantau suhu	Digital	2
4	TDS sensor	Mengukur total zat terlarut	Analog	2
5	Pompa air	Mengalirkan air, nutrisi tanaman	Relay ke GPIO mikrokontroler	1
6	Peristaltic Pump 12V	Memberikan nutrisi /pH	Adaptor	4
7	Panel board	Memantau data <i>real-time</i>	Power	2
8	Relay module 5V 4 channel	Mengontrol perangkat listrik	Digital	1
9	Floating valve	Katup pengontrol	Analog	2
10	Relay pompa air	Mengontrol pompa	Digital	1
11	LCD 12C 20X4	Menampilkan data dari sensor	12V (Digital)	1
12	Adaptor 12V	Memberikan aliran listrik ke pompa	Terminal	1
13	Adaptor 5V	Memberikan aliran listrik ke sensor	Terminal	2

2) Perangkat Lunak

Perangkat lunak diidentifikasi beberapa *library* untuk menjalankan sensor IoT dengan sistem cerdas Fuzzy logic ditunjukkan pada Tabel 3 berikut:

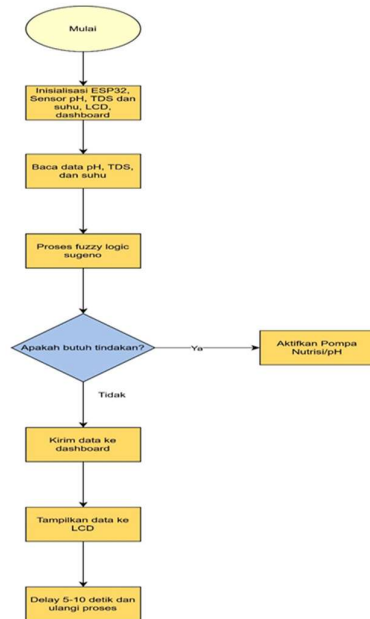
Tabel 3. Perangkat lunak

Library	Fungsi
Arduino.h	Set up awal
Wi-Fi.h	Koneksi Wi-Fi
HTTPClien.h	Request response user
ESPAsyncWebServer.h	Webserver
LiquidCrystal 12C.h	LCD
OneWire.h	Sensor suhu air

DallasTemperature.h	Sensor suhu air
EEPROM.h	Menyimpan konfigurasi ke esp32

C. Pengembangan Smart Watering

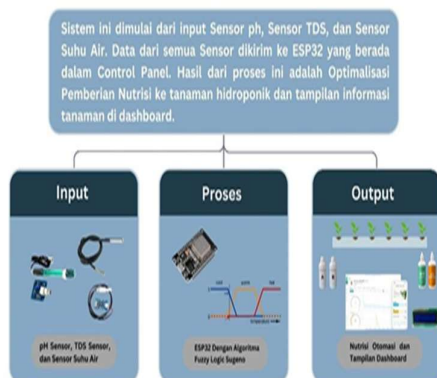
Pengembangan *smart watering* berbasis IoT dirancang dalam bentuk *prototype*, ditunjukkan Gambar 3 berikut:



Gambar 3. Flowchart smart watering

Gambar 3 menunjukkan *flowchart smart watering*, dimana proses diawali inisialisasi semua perangkat. Kemudian sensor membaca nilai pH, TDS dan suhu larutan untuk diintegrasikan dengan fuzzy menentukan perlu/tidak tindakan. Jika hasilnya tanaman membutuhkan penambahan air/nutrisi, maka sistem mengaktifkan pompa. Data hasil sensor ditampilkan di LCD. Delay 5-10 detik sebelum mengulangi proses.

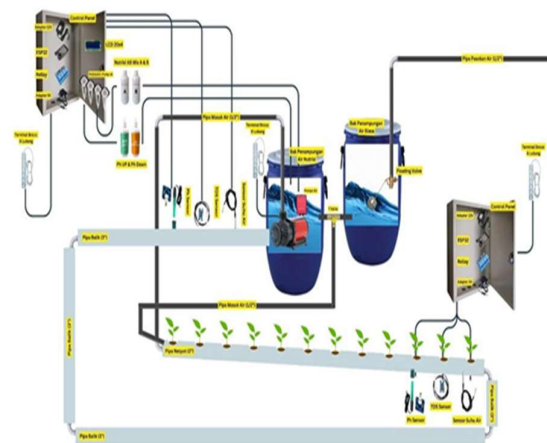
Penelitian dirancang dalam tiga tahapan proses: *input*, proses dan *output* ditunjukkan Gambar 4 berikut:



Gambar 4. Skema alur *input*, proses dan *output*

Gambar 4 menunjukkan skema alur *input*, proses dan *output*. Sistem menggunakan sensor pH, suhu dan TDS untuk mendeteksi tingkat keasaman, suhu, dan kadar nutrisi. Data dikirim ke mikrokontroler ESP32 yang menerapkan kontrol fuzzy. Melalui fuzzy, sistem mengambil keputusan secara adaptif, mengatur pompa peristaltik dalam menambahkan larutan pupuk AB Mix dan cairan pH *up/down* sesuai kebutuhan [12]. Pompa utama dikendalikan menjaga sirkulasi air, sementara semua aktuator didukung relay. Hasil akhir adalah air bernutrisi dengan pH dan TDS terkontrol otomatis mengalir ke tanaman hidroponik dan disirkulasi ulang secara efisien [13].

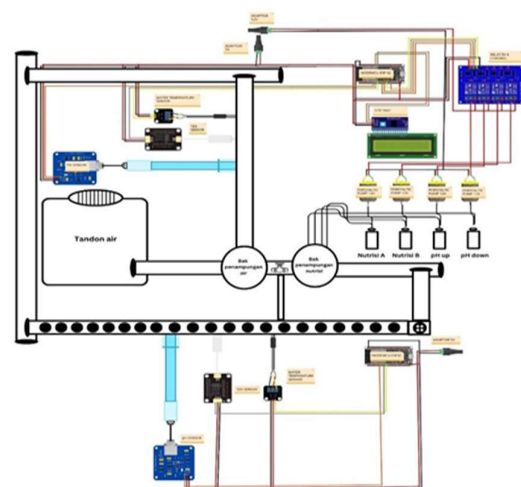
Rencana perancangan instalasi alat *smart watering* ditunjukkan Gambar 5:



Gambar 5. Instalasi perancangan alat *smart watering*

Gambar 5 menunjukkan instalansi perancangan alat *smart watering*.

Rancangan *wiring* ditunjukkan Gambar 6:



Gambar 6. Rancangan *wiring*

Gambar 6 menunjukkan rancangan *wiring* alat IoT yang dibutuhkan pada penelitian.

D. Pemodelan Fuzzy Logic Sugeno

Model fuzzy logic sugeno digunakan untuk pengolahan data pada penelitian ini. Metode fuzzy sugeno dipilih karena kemampuannya yang unggul dalam menangani data tidak pasti dan non-linier pada sistem hidroponik, akurat dibandingkan sistem konvensional [14]. Model fuzzy sugeno memiliki beberapa tahapan proses ditunjukkan pada Gambar 7 berikut:



Gambar 7. Tahapan proses model fuzzy sugeno

1) Fuzzifikasi

Tindakan mengubah nilai-nilai numerik menjadi nilai keanggotaan dalam himpunan fuzzy dikenal sebagai "fuzzifikasi". fuzzifikasi digunakan untuk mengkarakterisasi derajat keanggotaan suatu variabel dalam himpunan fuzzy. Fuzzifikasi penelitian ini ditunjukkan Tabel 4 berikut:

Tabel 4. Fuzzifikasi

Variabel	Range Nilai
Suhu <i>hot</i>	25,1-30
Suhu <i>normal</i>	18,1-25
Suhu <i>cold</i>	0-18
pH <i>low</i>	1 - 5,5
pH <i>normal</i>	5,6 - 7
pH <i>high</i>	7-14
TDS <i>high</i>	1601- 2300
TDS <i>medium</i>	701 - 1600
TDS <i>low</i>	0 - 700

Tabel 4 mengikuti karakteristik fisiologi tanaman melon secara hidroponik. Dasar ilmiah penyusunan aturan merujuk pada referensi hortikultura dan agronomi [10], [17].

2) Rule Base

Aturan fuzzy yang menghubungkan kondisi pada variabel *input* dengan tindakan yang akan dilakukan pada variabel *output* membentuk basis aturan (*rule base*). Pedoman ini menguraikan penalaran dibalik keputusan dalam sistem fuzzy. *Rule base* terdiri dari aturan-aturan fuzzy yang menghubungkan kondisi-kondisi pada variabel *input* dengan tindakan yang harus diambil pada variabel *output*. Aturan-aturan ini menggambarkan logika yang digunakan dalam sistem fuzzy untuk mengambil keputusan [15]. *Rule base* penelitian ini ada 27 *rules input* ditunjukkan pada Tabel 5 dan 4 (empat) kategori *rules output* pada Tabel 6 berikut:

Tabel 5. Rule base input fuzzy sugeno

No	Suhu	pH	TDS	Status Pempa
----	------	----	-----	--------------

1	<i>cold</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	Menyala
2	<i>cold</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	Menyala
3	<i>cold</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	Mati
...	...	...	...	...
10	<i>normal</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	Menyala
11	<i>normal</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	Menyala
12	<i>normal</i>	<i>low</i>	<i>high</i>	Mati
...	...	...	...	...
25	<i>hot</i>	<i>high</i>	<i>low</i>	Menyala
26	<i>hot</i>	<i>high</i>	<i>medium</i>	Menyala
27	<i>hot</i>	<i>high</i>	<i>high</i>	Mati

Tabel 6. Rule base output fuzzy sugeno

No	Output (%)	Kategori Dosis Penambahan Air dan Nutrisi
1	76-100	Sangat baik
2	51-75	Baik
3	26-50	Cukup
4	0-25	Kurang

3) Inferensi

Merupakan aturan-aturan fuzzy (*rule base*) untuk menentukan seberapa kuat setiap *rule* "menyala" (*firing strength*) dan kontribusinya terhadap *output*.

Untuk setiap *rule* i:

1. Hitung *degree of membership* masing-masing input ke himpunan linguistik (μ_{suhu} , μ_{pH} , μ_{TDS}).
2. *Firing strength rule* i:

$$w_i = \min(\mu_{\text{suhu}}, \mu_{\text{pH}}, \mu_{\text{TDS}}) \quad (1)$$

Keterangan:

- w_i = *firing strength rule* ke-i
 - μ_{suhu} = derajat keanggotaan variabel suhu
 - μ_{pH} = derajat keanggotaan variabel pH
 - μ_{TDS} = derajat keanggotaan variabel TDS
3. Karena zero-order Sugeno, tiap *rule* punya konstanta z_i (untuk tiap *output*): z_i^{air} , z_i^{nutrisi} .
 4. *Output akhir*:

Untuk Air

$$Air_{out} = \frac{\sum_i w_i \cdot z_i^{\text{air}}}{\sum_i w_i} \quad (2)$$

Untuk Nutrisi:

$$Nutrisi_{out} = \frac{\sum_i w_i \cdot z_i^{\text{nutrisi}}}{\sum_i w_i} \quad (3)$$

4) Defuzzifikasi

Merupakan langkah di mana aturan yang ditentukan dalam basis pengetahuan menghasilkan nilai keluaran proses defuzzifikasi [16].

Contoh simulasi perhitungan defuzzifikasi:

weighted average (zero-order sugeno).

Sensor membaca:

- Suhu = 26°C → $\mu_{\text{normal}} = 0.7$
- pH = 5.8 → $\mu_{\text{normal}} = 0.8$
- TDS = 1400 ppm → $\mu_{\text{medium}} = 0.6$

Tiga *rule* dengan *firing strength* tertinggi:

- Rule 5: $w_1 = 0.6$, output $z_1 = 70$
- Rule 9: $w_2 = 0.3$, output $z_2 = 50$
- Rule 14: $w_3 = 0.1$, output $z_3 = 20$

Defuzzifikasi:

$$Z = \frac{w_1 z_1 + w_2 z_2 + w_3 z_3}{w_1 + w_2 + w_3}$$

$$Z = \frac{\{(0.6)(70) + (0.3)(50) + (0.1)(20)\}}{(0.6 + 0.3 + 0.1)}$$

Hasil defuzzifikasi:

- Output numerik: 59%
- Kategori: Baik (51–75%)

E. Pengujian Alat

Pengujian alat dilakukan dengan menguji fungsionalitas sensor terhadap kondisi lingkungan serta reaksi servo dengan sinyal fuzzy sugeno.

F. Pengujian Kinerja Sistem IoT dengan Fuzzy Logic Sugeno untuk Melon Hidroponik

Pengujian dilakukan pada tanaman melon yang ditanam dari bibit untuk monitoring pH, suhu, TDS, air dan nutrisi dari sistem yang dirancang. Sebagai pembanding, juga digunakan alat ukur konvensional seperti pH meter dan EC meter. Pengujian dilakukan pada waktu pagi dan siang hari. Pompa dinyalakan pada waktu tersebut untuk mengalirkan air ke *polybag*. Tanaman melon hidroponik memerlukan nutrisi AB mix, merupakan pupuk anorganik yang terdiri dari pupuk A dan pupuk B. Nutrisi ini harus diberikan dalam bentuk larutan yang menghindari pencampuran langsung antara pupuk A dan B untuk mencegah pengendapan yang mengurangi ketersediaan unsur bagi tanaman. Dosis larutan nutrisi untuk melon hidroponik adalah 1.500 – 2.000 PPM pada fase vegetatif dan 2.000 – 2.500 PPM pada fase generatif [17].

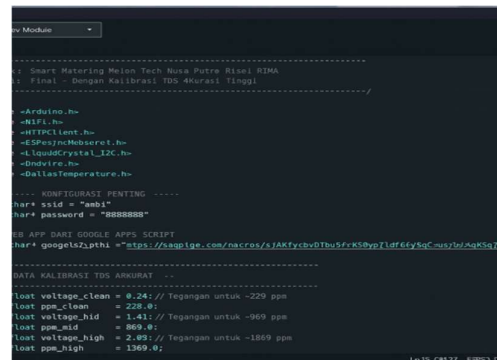
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Semua alat IoT (termasuk sensor) dirancang, diuji secara individual untuk memastikan tidak ada masalah pada masing-masing perangkat. Aktuator seperti relay dan pompa juga dites agar dapat berfungsi sesuai perintah sistem.

A. Perancangan Alat

Setelah semua alat dinyatakan berfungsi, dilakukan integrasi awal dengan mengembangkan kode utama (*Main Code*).

1). *Main code*: menyatukan seluruh sensor dan aktuator sesuai rancangan wiring. *Main code* ditunjukkan pada Gambar 8 berikut:

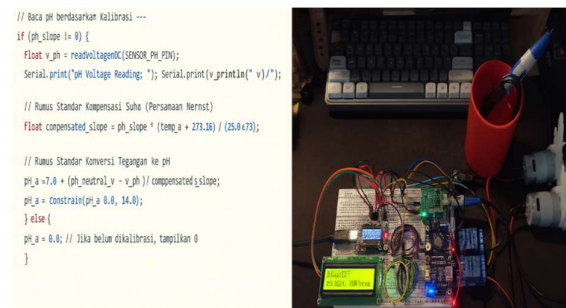


Gambar 8. *Main code* integrasi awal

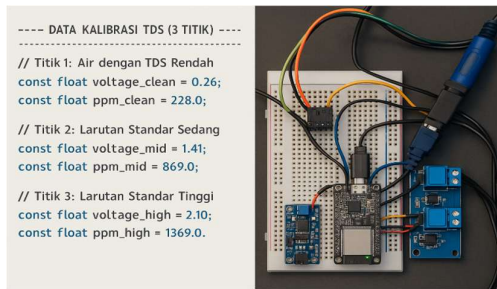
Gambar 8 menunjukkan kode sejumlah *library* penting yang di-*import*, seperti *Wi-Fi.h*, *HTTPClient.h*, *ESPAsyncWebServer.h*, dan *DallasTemperature.h*, berfungsi untuk konektivitas internet, komunikasi data, serta pembacaan sensor suhu dan TDS.

2). Kalibrasi sensor

Kalibrasi sensor dimulai dari sensor pH menggunakan buffer pH agar hasil pembacaan akurat, diikuti kalibrasi awal dan lanjutan pada sensor TDS untuk meningkatkan akurasi pengukuran. Kalibrasi sensor ditunjukkan pada Gambar 9 (kalibrasi pH) dan Gambar 10 (kalibrasi TDS).



Gambar 9. Kalibrasi sensor pH



Gambar 10. Kalibrasi sensor TDS

Setelah kalibrasi selesai, *Main Code* difinalisasi dan diintegrasikan dengan *cloud* melalui Google App Script agar data dari sistem dapat tersimpan secara *real-time* di Google Spreadsheet. *Main code* finalisasi ditunjukkan pada Gambar 11 dan *dashboard* kalibrasi sensor IoT ditunjukkan pada Gambar 12 berikut:

```

----- VARIABELE & OBJEK GLOBAL -----
float pH = 0, tds = 0.0, temp = 0.0
float modeOtomatis = true;

// - EC Integration EC -
float ecA = 0.0, ecB = 0.0 = 700.0; /Faktor konversi diubah ke 7000 scale)

// - Baca TDS & Hitung EC -
float measureVoltage_TDS = readVoltageADC(SENSOR_TDS_PIN);
float tdsvalue = 0.0;
if (measureVoltage_TDS <= voltage_low) voltage_clean, voltage_low, ppm_mid,
s = lininterp(lininterp(measureVoltage_TDS, voltage_clean, ppm_ppm_mid)
else (
tdsvalue = constraint(dsvalue, 0, 5000) voltage_high, ppm_mid, ppm_high);
float compensatedTDS = tdsvalue / (1.0 + 0.02 * (temp_a - 25.0));
float compensatedTDS = tdsvalue (.0, 0 5000);
float constraint(tdsvalue, 0, 0 5000)
float compensatedTDS = tdsvalue = (temp_a);
ecA = hitungEC(tdsA)
    
```

Gambar 11. Main code finalisasi



Gambar 12. Dashboard kalibrasi sensor

Gambar 12 menunjukkan dashboard kalibrasi sensor yang menampilkan 3 variabel *input* sensor (suhu, TDS dan pH) terdapat pada *control panel* A dan *control panel* B, adapun EC (*Electrical Conductivity*) terbentuk dari pembacaan pada sensor TDS. Sensor suhu berfungsi mengukur suhu larutan nutrisi, sensor TDS untuk mengukur jumlah zat padat terlarut dalam larutan hidroponik dan sensor pH untuk mengukur tingkat keasaman/basa larutan hidroponik. *Output control* juga ditampilkan pada *dashboard* untuk mengontrol air dan nutrisi selama fase pertumbuhan melon.

3). Visualisasi pengujian alat IoT

Sistem kemudian diuji secara keseluruhan untuk memastikan semua perangkat bekerja dengan baik sekaligus melakukan *debugging* pada wiring dan kode jika diperlukan. visualisasi simulasi pengujian alat ditunjukkan Gambar 13 berikut:



Gambar 13. Visualisasi pengujian alat IoT

Gambar 13 menunjukkan visualisasi simulasi pengujian sensor sebelum dipasang di *greenhouse*. Terlihat sensor-sensor IoT (suhu, TDS, pH) telah bekerja dengan baik. Adapun *output* EC terbaca dari sensor TDS sebagai nilai konversi, yang menunjukkan *Electrical Conductivity* (EC) berfungsi mengukur banyaknya ion (garam, nutrisi) di dalam air.

B. Pemasangan Alat IoT di Greenhouse

Pada penelitian ini terdapat 2 *control panel* yang berisikan sensor-sensor IoT (pH, suhu dan TDS) yang dipasang di *greenhouse* selama fase pertumbuhan melon, mulai dari fase pembibitan sampai fase pematangan. Letak 2 *control panel* tersebut ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Pemasangan 2 control panel di greenhouse

Gambar 14 menunjukkan letak 2 *control panel* di *greenhouse*, dimana salah satu dari *control panel* tersebut diintegrasikan ke sistem pemodelan fuzzy. Hasil pengukuran dari sensor-sensor IoT tersebut akan menghasilkan *output* kategori penambahan optimal dosis air dan nutrisi secara *real-time* selama fase vegetatif dan generatif pertumbuhan melon hidroponik [18].

C. Pengujian Sensor IoT

Pada fase pertumbuhan melon 60 HTS dilakukan pengujian untuk memastikan apakah semua sensor sudah bekerja dengan baik ketika mesin pompa dinyalakan. Hasil pengujian kinerja sensor IoT (TDS, pH dan suhu) dapat dilihat pada Tabel 7 dan Tabel 8 berikut:

Tabel 7. Pengujian kinerja sensor TDS fase pertumbuhan melon

HST	Target EC	Aktual EC	Δ EC	TDS (PPM)	
				Estimasi	Aktual
0	1,2	1,20	0,00	700 - 1050	840
1	1,2	1,11	0,09	700 - 1050	781
2	2,0	1,17	0,83	1400 - 1750	822
3	2,5	1,90	0,60	1400 - 1750	1350
4	2,5	2,48	0,02	1400 - 1750	1740
5	2,5	2,46	0,04	1400 - 1750	1790
...	...	...	...	...	...
56	2,7	2,03	0,67	1750 - 1960	1430
57	2,7	2,52	0,18	1750 - 1960	1780
58	2,7	2,15	0,55	1750 - 1960	1510
59	2,7	2,67	0,03	1750 - 1960	1870
60	2,7	2,10	0,60	1750 - 1960	1470

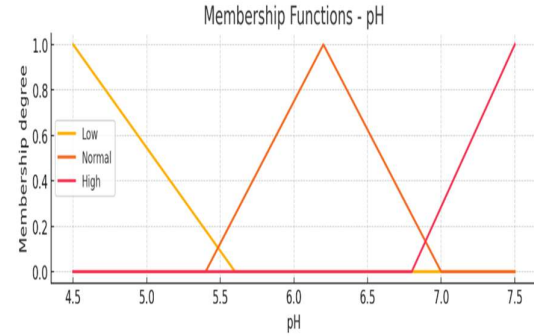
Tabel 8. Pengujian kinerja sensor pH, suhu dan waktu penambahan air

HST	pH	Suhu Air		Waktu Penambahan Air (liter)	
		Pagi	Siang	Pagi	Siang
0	6,0	24°C	30°C	11,00	11,000
1	6,0	24°C	30°C	0,806	0,806
2	6,0	24°C	30°C	7,433	7,433
3	6,0	24°C	30°C	5,373	5,373
4	6,0	24°C	30°C	0,179	0,179
...	...	...	...	...	...
56	6,0	24°C	30°C	7,880	7,880
57	6,0	24°C	30°C	3,582	3,582
58	6,0	24°C	30°C	4,478	4,478
59	6,0	24°C	30°C	3,761	3,761
60	6,0	23°C	30°C	4,657	4,657

D. Pengujian Fuzzy Logic Sugeno

Hasil pengujian fuzzy logic sugeno terhadap 3 sensor *smart watering* (pH, suhu dan TDS) sebagai berikut:

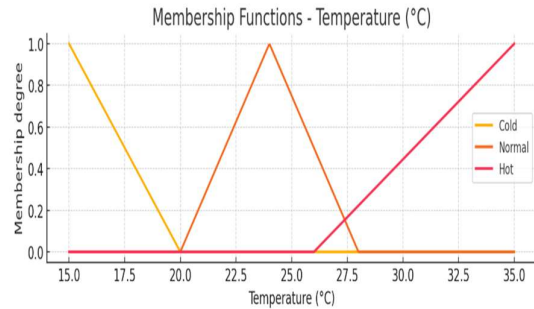
1). Membership function pH



Gambar 15. Membership function pH

Gambar 15 menunjukkan nilai pH menjadi derajat keanggotaan dalam skala 0 sampai 1 untuk setiap kategori fuzzy (*low*, *normal*, *high*).

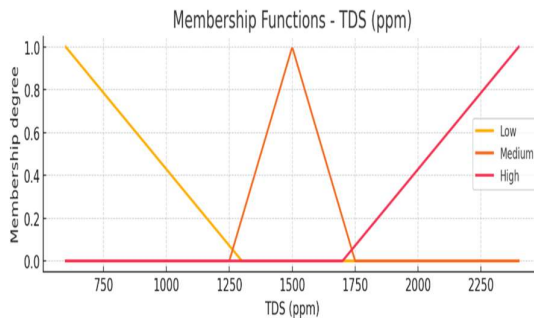
2). Membership function temperature /suhu



Gambar 16. Membership function temperature/suhu

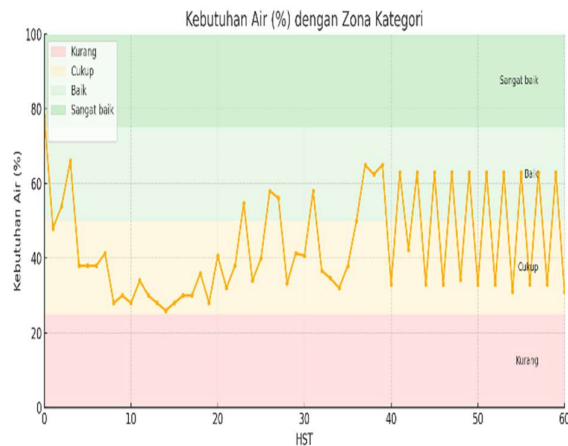
Gambar 16 menunjukkan nilai *temperature/suhu* menjadi derajat keanggotaan dalam skala 0 sampai 1 untuk setiap kategori fuzzy (*cold*, *normal*, *hot*).

3). Membership function TDS



Gambar 17. Membership function TDS

Gambar 17 menunjukkan nilai TDS menjadi derajat keanggotaan dalam skala 0 sampai 1 untuk setiap kategori fuzzy (*low*, *medium*, *high*).

4). *Kebutuhan air fase pertumbuhan melon*

Gambar 18. Kebutuhan air fase pertumbuhan melon

Gambar 18 menunjukkan presentasi kebutuhan air, pada fase pembibitan kisaran 35%-57% (baik) karena membutuhkan suplai air yang stabil, lanjut fase vegetatif kebutuhan air menurun kisaran 20%-25% (cukup) karena pH dan TDS nutrisi stabil, dan pada fase pembuahan kebutuhan air naik kisaran 30%-60% (kategori baik).

5). *Kebutuhan nutrisi fase pertumbuhan melon*

Gambar 19. Kebutuhan nutrisi fase pertumbuhan melon

Gambar 19 menunjukkan presentasi kebutuhan nutrisi relatif tinggi di awal (kisaran 40%-80%) untuk perkembangan akar dan daun, kemudian menurun kisaran 10%-45% karena perubahan aktivitas metabolik serta variasi pH, TDS dan suhu mempengaruhi absorpsi nutrisi dan berfluktuasi pada fase pembuahan.

E. Pengujian Pertumbuhan Tanaman Melon

Hasil pengujian pertumbuhan tanaman melon selama 60 hari ditunjukkan pada Tabel 9 berikut:

Tabel 9. Visualisasi pertumbuhan melon

HST	Sistem Konvensional	Sistem IoT	Keterangan
1			Tanaman mulai tumbuh dengan 2 daun, tinggi daun 4-5 cm
2			Jumlah daun bertambah menjadi 3, tinggi daun 5-7 cm
3			Jumlah daun menjadi 4, tinggi daun 9-10 cm
49			Buah mulai membesar, diameter buah 7-12 cm
60			Kematangan buah terlihat, berat buah 0,8- 1,2 kg

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil menerapkan fuzzy sugeno pada budidaya melon hidroponik yang memberikan rekomendasi kebutuhan air dan nutrisi lebih presisi dan adaptif berdasarkan pH, suhu dan TDS. Kinerja ketiga sensor *smart watering* (pH, suhu dan TDS) sudah berfungsi dengan baik dan akurat. Hasil menunjukkan kebutuhan air dan nutrisi pada kategori baik ketika fase pembibitan (vegetatif) dan cenderung berfluktuasi pada kategori cukup terutama di fase pembentukan buah (generatif). Sistem hidroponik melon dengan *smart watering* menghasilkan pertumbuhan melon yang lebih baik, dimana selisih penambahan tinggi daun berkisar 1 cm dan penambahan bobot buah melon sebesar 0,4 kg dibanding sistem konvensional. Pada pengembangan selanjutnya disarankan penambahan sensor EC agar pengukuran konsentrasi nutrisi lebih akurat dan stabil dibandingkan sensor TDS.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis kepada semua pihak yang berkontribusi dalam penelitian ini, khususnya BIMA Kemdiktisaintek yang telah memberikan pendanaan hibah untuk penelitian ini, terima kasih juga kepada PT. Doa Bangsa Agrobisnis, sebagai mitra telah berkontribusi pengadaan fasilitas seperti bibit tanaman melon dan pipa saluran air. Tak lupa, penulis ucapkan juga kepada rekan tim peneliti atas kerjasama yang baik sehingga penelitian ini terlaksana dengan lancar dan sukses.

Referensi

- [1] G. S. Ydatama, Uky; Dianto, aris; Fergina, Anggun; Insany, *Sistem Enterprise di Era Digital*. Kaizen Media Publishing, 2023. [Online]. Available: <https://repositori.kaizenpublisher.co.id/publications>
- [2] S. Nora, M. Yahya, M. Mariana, H. Herawaty, and E. Ramadhani, "Teknik Budidaya Melon Hidroponik dengan Sistem Irigasi Tetes (Drip Irrigation)," *Agrium*, vol. 23, no. 1, pp. 21–26, 2020, [Online]. Available: <http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/agrium/article/view/5654>
- [3] L. Mohammad, M. Khamim, A. Husna, and S. Pakpahan, "Pengembangan Sistem Hidroponik Otomatis-Modern Berbasis Panel Surya dan Baterai (Development of Modern Automatic Hydroponic Systems Based on Solar Panels and Batteries)," vol. 10, no. 1, 2021.
- [4] T. D. Muftashiva *et al.*, "Sistem Smart Plant Monitoring Pada Hidroponik Melon Berbasis," vol. 12, no. 3, pp. 51–56, 2024.
- [5] G. Solihin, Hanhan,;Hasan, Firman; Kharisma, Ivana; Insany, *Konsep Sistem Informasi di Era Digital*. Kaizen Media Publishing, 2024. [Online]. Available: <https://repositori.kaizenpublisher.co.id/media/publications/>
- [6] F. Suryatini, S. Pancono, S. B. Bhaskoro, And P. M. S. Muljono, "Sistem Kendali Nutrisi Hidroponik berbasis Fuzzy Logic berdasarkan Objek Tanam," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 9, no. 2, p. 263, 2021, doi: 10.26760/elkomika.v9i2.263.
- [7] S. Somantri, G. P. Insany, S. Olis, and K. Kamdan, "Perancangan Sistem Otomatisasi Pemberi Pakan Ikan Lele Berdasarkan Suhu Air Menggunakan Logika Fuzzy Sugeno," *J. Edukasi dan Penelit. Inform.*, vol. 9, no. 2, p. 289, 2023, doi: 10.26418/jp.v9i2.65823.
- [8] B. Rahman, T. Mantoro, S. Andryana, S. B. Wicaksono, J. Sawo, and M. Pasar, "Optimizing Plant Watering Efficiency via IoT : Fuzzy Sugeno Method with ESP8266 Microcontroller," vol. 13, no. 3, pp. 1849–1857, 2024, doi: 10.18421/TEM133.
- [9] A. B. Kaswar, R. D. Mahande, and J. D. Malago, "A New Model For Hydroponic Lettuce Nutrition Adaptive Control System Based On Fuzzy Logic Sugeno Method Using Esp32 Selada Hidroponik Berbasis Logika Fuzzy Metode Sugeno Menggunakan Esp32," vol. 4, no. 2, pp. 391–400, 2023.
- [10] E. W. Minarni and Z. Ulinnuha, "Pengaruh Perbedaan Jarak Tanam terhadap Pertumbuhan dan Kualitas Melon pada Sistem Hidroponik NFT," *J. Ilmu-Ilmu Pertan.*, vol. 25, no. 1, pp. 145–151, 2023, [Online]. Available: <https://jurnalnasional.ump.ac.id/index.php/AGRIT ECH/index>
- [11] A. A. G. Putra, P. G. Gunamanta, And K. T. I. Winten, "Pemberian Nutrisi Goodplant Pada Berbagai Umur Bibit Secara Hidroponik Sistem Nft Terhadap Hasil Tanaman Selada Merah," *Ganec Swara*, vol. 15, no. 1, p. 842, 2021, doi: 10.35327/gara.v15i1.182.
- [12] R. H. Dwitama and N. K. Ningrum, "IoT-Based Prediction of Ornamental Plant Water Needs Using Sugeno Fuzzy Algorithm," vol. 9, no. 4, 2025.
- [13] I. Agustian, B. I. Prayoga, H. Santosa, N. Daratha, and R. Faurina, "NFT Hydroponic Control Using Mamdani Fuzzy Inference System," vol. 3, no. 3, pp. 374–383, 2022, doi: 10.18196/jrc.v3i3.14714.
- [14] M. F. Rustan, "Smart Monitoring Hidroponik Berbasis Internet of Things," *J. Comput. Inf. Syst. (J-CIS)*, vol. 4, no. 2, pp. 51–61, 2021, doi: 10.31605/jcis.v4i2.1494.
- [15] M. E. Apriyani, A. Ismail, and A. W. Andini, "Sistem Monitoring Budidaya Melon Melalui Greenhouse Berbasis Internet Of Things Things-Based Greenhouse," vol. 12, no. 1, pp. 187–194, 2025, doi: 10.25126/jtiik.2025129164.
- [16] Y. A. Universitas, H. Asy'ari Tebuieng, J. Hadi, S. Universitas, H. Asy'ari, and T. Jombang, "Implememntasi Fuzzy Sugeno Berbasis Iot Pada Sistem Monitoring Hidroponik Selada," *J. Ilm. Penelit. Mhs.*, vol. 3, no. 4, pp. 603–612, 2025, [Online]. Available: <https://doi.org/10.61722/jipm.v3i4.1146>
- [17] M. Fauzan *et al.*, "Perancangan Dan Implementasi Sistem Pengendali Nutrisi Dan Ph Pada Buah Melon Hidroponik Irigasi Tetes Berbasis Iot," vol. 11, no. 6, pp. 6105–6108, 2024.
- [18] S. Niekie Rafida, M. Rizki Mura, A. Ferryanto, A. Fatikhaturrohman, D. Septian Aditya, and I. Sayekti, "Penerapan teknologi smart farming berbasis internet of things untuk meningkatkan kualitas melon madu di agrowisata purwosari," *Orbith*, vol. 19, no. 3, pp. 263–272, 2023.