

**ANALISIS KINERJA SENSOR UNTUK PENGUKURAN
KUALITAS AIR PH DAN NUTRISI PADA SMART
AEROPONIK BERBASIS IOT MENGGUNAKAN SISTEM
HIGH-PRESSURE AEROPONIK**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu (S1) Pada
Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Islam Nusantara



Oleh:

MUHAMAD GIAS MUHAROM

41037002211030

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM NUSANTARA
BANDUNG
2025**

LEMBAR KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhamad Gias Muharom

NIM : 41037002211030

Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan bahwa Skripsi yang berjudul:

ANALISIS KINERJA SENSOR UNTUK PENGUKURAN KUALITAS AIR PH DAN NUTRISI PADA SMART AEROPONIK BERBASIS IOT MENGGUNAKAN SISTEM HIGH-PRESSURE AEROPONICS dibuat dengan sebenar – benarnya dari penelitian, pemikiran, dan pemaparan hasil saya sendiri. Untuk melengkapi sebagai pernyataan menjadi Sarjana (S1) pada jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Islam Nusantara Bandung maupun perguruan – perguruan tinggi atau instansi, manapun kecuali bagian yang sumber informasi dicantumkan sebagaimana mestinya.

Bandung, 15 April 2025

Yang membuat pernyataan

Muhamad Gias Muharom

NIM.41037002211030

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS KINERJA SENSOR UNTUK PENGUKURAN KUALITAS AIR
PH DAN NUTRISI PADA SMART AEROPONIK BERBASIS IOT
MENGUNAKAN SISTEM HIGH-PRESSURE AEROPONICS**

Disusun dan diajukan oleh:

MUHAMAD GIAS MUHAROM

41037002211030

Disetujui dan disahkan pada sidang skripsi

Pada tanggal:

15 Mei 2025

Pembimbing I

Pembimbing II

Ganis Sanhaji, S.Si., M.Sc.

Dr. Iksal Rachman, M.T.

Mengetahui:

Dekan Fakultas Teknik

Ketua Prodi Teknik Elektro

Dr. Ricky Yoseptry, M.M.Pd.

M. Zimamul Adli, M.Si.

LEMBAR PENGESAHAN

Revisian Skripsi

**ANALISIS KINERJA SENSOR UNTUK PENGUKURAN KUALITAS AIR
PH DAN NUTRISI PADA SMART AEROPONIK BERBASIS IOT
MENGUNAKAN SISTEM HIGH-PRESSURE AEROPONICS**

Telah Direvisi

Oleh:

MUHAMAD GIAS MUHAROM

41037002211030

3 Juni 2025

Mengesahkan,

Penguji I

Penguji II

Ryan Nur Iman, S.Si., M.Sc.

Ir. Joko Haryatno, M.T.

Ketua sidang

M. Zimamul Adli, M.Si.

BIODATA PENULIS



Nama : Muhamad Gias Muharom
Tempat, Tanggal Lahir : Bandung, 25 Februari 2003
Telepon : +88213847519
Email : giasmuharom2003@gmail.com
Riwayat Pendidikan : SDN Linggar III
SMP FK Bina Muda
SMA Bina Muda

KATA PENGANTAR

Segala puja dan puji syukur kehadirat Tuhan yang Maha Esa, yang telah melimpahkan rahmat dan kesehatan kepada kita semua sehingga penyusun dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “ANALISIS KINERJA SENSOR UNTUK PENGUKURAN KUALITAS AIR: PH DAN NUTRISI PADA SMART AEROPONIK BERBASIS IOT MENGGUNAKAN SISTEM HIGH-PRESSURE AEROPONIK”.

Walaupun demikian penyusun berusaha dengan semaksimal mungkin demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis pun menyadari bahwa tidak sedikit bantuan, dukungan, dan bimbingan yang telah diberikan oleh berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan ketulusan dan kerendahan hati, penulis mengucapkan terimakasih serta penghargaan setinggi tingginya:

1. Allah SWT atas segala doa yang telah didengar-Nya
2. kedua orang tua yang telah memberikan dorongan secara motivasi, doa maupun material. Serta seluruh keluarga besar penulis, terimakasih karena selalu memberikan motivasi pada penulis.
3. Bapak Prof. Dr. Endang Komara, M.Si. selaku Rektor Universitas Islam Nusantara.
4. Bapak Dr. Ricky Yoseptry, M.M.Pd. selaku dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Nusantara.
5. Bapak M. Zimamul Adli, M.Si. selaku Ketua Prodi Teknik Elektro. Universitas Islam Nusantara yang selalu memberikan dukungan, bimbingan, arahan, masukan serta semangat kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini.
6. Ganis Sanhaji, S.Si., M.Sc. selaku dosen pembimbing I skripsi yang telah memberikan masukan, saran, dan arahan kepada penulis dalam proses penyusunan skripsi ini.
7. Dr. Iksal Rachman, M.T. Selaku dosen pembimbing II skripsi yang telah memberikan masukan, saran, kritik, dan arahan kepada penulis dalam proses penyusunan skripsi ini.
8. Seluruh dosen fakultas yang memberikan ilmu yang bermanfaat bagi penyusun

9. Teman teman kelas Teknik elektro angkatan 2021 yang selalu memberi semangat satu sama lain
10. Teman-teman tim *Smart Aeroponik*, *Smart Greenhouse*, *Smart Hidroponik*, dan
11. Semua pihak yang senantiasa mendukung penulis yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Semoga atas bantuan dengan ketulusan hati yang telah diberikan oleh semua pihak dibalas oleh tuhan dan semoga langkah kita selalu dalam lindungan-Nya. Demikian, semoga skripsi ini dapat diterima sebagai ide gagasan yang menambah kekayaan intelektual bangsa.

Bandung, 03 Februari 2025

Muhamad Gias Muharom

NIM.41037002211030

ABSTRAK

Nama : Muhamad Gias Muharom

NIM : 41037002211030

Program Studi : Teknik Elektro

Judul : Analisis Kinerja Sensor untuk Pengukuran Kualitas Air: PH dan Nutrisi pada Smart Aeroponik Berbasis IoT menggunakan Sistem High-Pressure Aeroponik

Pemantauan kualitas air menjadi aspek krusial dalam penerapan sistem aeroponik, khususnya untuk menjaga keseimbangan nilai pH dan konsentrasi nutrisi yang diperlukan oleh tanaman. Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi performansi sensor pH dan TDS dalam sistem aeroponik cerdas (*smart aeroponik*) yang terintegritas dengan teknologi *internet of Things* (IoT) dan menggunakan pendekatan *high-pressure aeroponik*. Sistem ini dirancang bertujuan untuk mempermudah pemantauan larutan nutrisi secara *real-time*.

Sistem ini dikembangkan menggunakan sensor pH dan nutrisi menggunakan pH Sensor, TDS (total padatan terlarut) untuk memantau konsentrasi nutrisi dipasang pada mikrokontroler T-Relay S3 ESP32 dan dikalibrasikan menggunakan larutan standar. Data dari sensor dikirim ke *platform* IoT untuk dianalisis sebagai perbandingan validasi data.

Hasil penelitian ini bahwa sensor menunjukkan performa yang baik dengan akurasi yang tinggi, dengan tingkat *error* yang masih dalam batas wajar. Sistem terbukti mampu memantau parameter kualitas air secara stabil dan akurat, serta dinilai layak dijadikan solusi otomatisasi dalam pemantauan kualitas air pada sistem aeroponik berbasis IoT.

Kata Kunci: *Smart Aeroponik*, Sensor pH, Sensor TDS, Internet of Things (IoT), Kualitas Air, *High-Pressure Aeroponik*.

DAFTAR ISI

LEMBAR KEASLIAN SKRIPSI	i
BIODATA PENULIS.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematik penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Penelitian Terdahulu	4
2.2 Teknologi Aeroponik	9
2.3 High-Pressure Aeroponik.....	10
2.4 Measurement System Analisis (MSA).....	10
2.5 Akurasi	10
2.6 Bias (Error).....	11
2.7 Internet of Things (IoT)	11
2.8 Kualitas Air dalam Sistem Aeroponik	12
2.3.1 PH.....	12
2.3.1 Konsentrasi Nutrisi.....	13
2.9 Sensor.....	14
2.10 Sensor PH.....	14
2.11 Sensor TDS	15

2.12	Mikrokontroler	17
2.13	Web	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		19
3.1	Alur Penelitian	19
3.2	Diagram Blok	21
3.3	Flowchart Sistem.....	21
3.4	Metode Pengambilan Data	22
3.5	Analisis Data	22
3.6	Metode penelitian.....	22
3.7	Kerangka berpikir.....	23
3.6.1	Latar Belakang.....	23
3.6.2	Tujuan Penelitian.....	23
3.6.4	Variabel Penelitian	24
3.6.5	Teori yang digunakan	25
3.6.6	Rencana Pengujian	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		25
4.1	Hasil Implementasi.....	25
4.1.1	Sensor TDS.....	26
4.1.2	Sensor pH	26
4.2	Hasil Pengujian	26
4.2.1	Sensor TDS.....	27
4.2.2	Sensor pH	31
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		41
DAFTAR PUSTAKA.....		43
LAMPIRAN.....		46

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Smart aeroponik	9
Gambar 2. 2 Sensor pH	14
Gambar 2. 3 Sensor TDS	15
Gambar 2. 4 Gambar Mikrokontroler	17
Gambar 3. 1 Flowchart Sistem Pengujian.....	19
Gambar 3. 2 Blok Diagram Sistem	21
Gambar 3. 3 Flowchart Sistem.....	21
Gambar 4. 1 Grafik Sensor TDS Hari Ke-1.....	28
Gambar 4. 2 Grafik Sensor TDS Hari Ke-2.....	28
Gambar 4. 3 Grafik Pengukuran Sensor TDS Hari Ke-3.....	30
Gambar 4. 4 Grafik Pengukuran Sensor pH Hari Ke-1	32
Gambar 4. 5 Grafik Pengukuran Sensor pH Hari Ke-2	33
Gambar 4. 6 Grafik Pengukuran Sensor pH Hari Ke-3	35
Gambar 4. 7 Grafik Perbandingan Sensor TDS	38
Gambar 4. 8 Grafik Perbandingan Sensor pH.....	40
Gambar L. 1 Pengukuran Menggunakan Alat Ukur	46
Gambar L. 2 Pengambilan data Sensor	46
Gambar L. 3 Pengukuran dan pencatatan	47
Gambar L. 4 Pengkalibrasian Alat Ukur.....	47

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu	11
Tabel 2. 2 Spesifikasi Sensor pH	15
Tabel 2. 3 Spesifikasi Sensor TDS	16
Tabel 2. 4 Spesifikasi Mikrokontroler	17
Tabel 4. 1 Pengukuran Sensor TDS Hari ke-1.....	27
Tabel 4. 2 Pengukuran Sensor TDS Hari ke-2.....	28
Tabel 4. 3 Pengukuran Sensor TDS Hari Ke-3.....	29
Tabel 4. 4 Tabel Pengukuran Sensor pH Hai ke-1.....	31
Tabel 4. 5 Tabel Pegukuran Sensor pH Hari ke-2	33
Tabel 4. 6 Pengukuran Sensor pH Hari ke-3	34
Tabel 4. 7 Data Persentase Error dan Akurasi Sensor TDS.....	36
Tabel 4. 8 Data Persentase Error dan Akurasi Sensor pH	38

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertanian merupakan sektor yang memiliki peran vital dalam kehidupan masyarakat Indonesia, tidak hanya sebagai penyedia bahan pangan tetapi juga sebagai sumber utama mata pencaharian bagi sebagian besar penduduk. Hal ini didukung oleh kondisi geografis Indonesia yang memiliki lahan pertanian yang luas dan subur. Secara umum, para petani memanfaatkan tanah sebagai media utama dalam bercocok tanam untuk mendukung produktivitas pertanian (Roidah, 2014).

Seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk, kebutuhan pangan, khususnya sayuran dan buah-buahan, terus mengalami peningkatan. Namun, peningkatan tersebut tidak diimbangi dengan ketersediaan lahan pertanian yang justru semakin berkurang akibat alih fungsi lahan untuk pemukiman, industri, dan infrastruktur. Kondisi ini menuntut inovasi dalam sektor pertanian, seperti penerapan teknologi pertanian modern, salah satunya *aeroponik*, guna mengoptimalkan produktivitas pangan meskipun dengan keterbatasan lahan (Alfian et al, 2024).

Aeroponik berasal dari kata *aero* yang berarti udara dan *ponus* yang berarti daya jadi aeroponik yaitu memberdayakan udara. *Aeroponik* adalah cara menanam tanaman yang digantung di udara dan tumbuh dalam lingkungan lembab tanpa tanah. Karena akar digantung di udara dan disemprotkan larutan nutrisi dalam bentuk kabut sebagai sumber nutrisi bagi tanaman yang memungkinkan untuk menanamnya hampir dimana saja pada ruang rubik yang digunakan (Rayes, et al., 2012).

Penanaman sistem *aeroponik* ini memerlukan perhatian khusus, selain menjaga nutrisi juga memerlukan perhatian pada kadar nutrisi, pH dan kejernihan air agar tanaman tetap stabil dalam proses perkembangannya. Sistem yang digunakan adalah HPA. *High Pressure Aeroponic* (HPA) merupakan sistem *aeroponik* yang menggunakan pompa bertekanan tinggi dan *nozzle* untuk menyemprotkan larutan nutrisi ke akar tanaman dalam bentuk kabut halus (Wicaksono, et al., 2017).

Selain kombinasi unsur, perlu juga diperhatikan nilai ph dari larutan nutrisi tersebut. PH merupakan ukuran tingkat keasaman dan kebasaan suatu larutan yang berperan penting dalam proses penyerapan unsur hara oleh akar tanaman. Jika tingkat ph tidak sesuai dengan kebutuhan tanaman, maka kemampuan akar dalam menyerap nutrisi esensial untuk pertumbuhan akar terganggu. Dalam sistem aeroponik kisaran ph yang ideal berkisar antara 5,5 hingga 7,5 untuk mendukung penyerapan nutrisi secara maksimal (Siregar, 2018). Menggunakan sistem aeroponik, kualitas air nutrisi sangatlah penting dan harus diperhatikan, ukuran kepekatan nutrisi dengan satuan PPM (*part per million*). Nutrisi tanaman adalah kandungan nutrisi atau unsur hara berupa zat-zat kimia yang dibutuhkan tanaman. Larutan nutrisi adalah salah satu faktor paling vital yang mempengaruhi kualitas dan hasil panen. Penambahan dan peningkatan PPM nutrisi disesuaikan dengan umur tanaman, semakin tua tanaman semakin tinggi PPM yang dibutuhkan (Alfian, et al., 2024).

Selama ini, pemantauan kualitas air pada parameter nutrisi dan ph masih dilakukan secara manual. Metode ini dianggap kurang efektif karena petugas harus melakukan secara berkala untuk memastikan kondisi air tetap terjaga (Hartono, et al., 2023). Teknologi *aeroponik* berbasis *IoT* menjadi salah satu inovasi untuk mengatasi masalah tersebut dengan penggunaan sensor TDS (untuk mengukur konsentrasi nutrisi) dan sensor PH (untuk mengukur keasaman dalam larutan) sensor ini terhubung dengan mikrokontroler Lyligo T-Relay S3 ESP-32-S3 yang dapat memproses data dan mengaktifkan actuator seperti pompa nutrisi untuk menambahkan pH up (asam) dan pH down (basa) (Alfian, et al., 2024).

Dalam era digital, sistem monitoring kualitas air kini dapat dilakukan secara otomatis, efisiensi, dan *real-time*. Sensor pH dan TDS dapat diintegrasikan dengan mikrokontroler Lyligo T-Relay S3 ESP-32-S3 dan dikirimkan ke *platform web* untuk pemantauan jarak jauh dan mengambil tindakan lebih cepat serta efisien (Mahendiran, 2025).

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana akurasi sensor ph dan nutrisi dalam mengukur kualitas air pada sistem *aeroponic* berbasis IoT?

2. Seberapa efektif sistem monitoring berbasis IoT dalam memantau kualitas air secara *real-time*?
3. Apakah sistem smart aeroponik dengan sensor berbasis IoT dan *high-pressure aeroponic* dapat bekerja secara efektif dalam pemantauan kualitas air?

1.3 Batasan Masalah

1. Penelitian ini dilakukan pada kualitas air pada sistem aeroponik berbasis IoT dengan menggunakan *High-pressure Aeroponik*.
2. Sensor yang digunakan dalam kualitas air meliputi pH dan Nutrisi.
3. Data yang dihasilkan oleh monitoring berbasis *IoT* akan dianalisis untuk mengevaluasi efektivitas sistem monitoring berbasis *IoT* dalam pemantauan kualitas air.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis akurasi sensor pH dan Nutrisi dalam sistem smart aeroponik berbasis IoT.
2. Mengevaluasi efektivitas sistem monitoring berbasis *IoT* dalam memantau parameter kualitas air (pH dan nutrisi).
3. Menguji efektivitas sistem monitoring berbasis *IoT* dalam pemantauan kualitas air.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Memberikan rekomendasi tentang pemantauan kualitas air dalam sistem aeroponik untuk menjaga kondisi optimal bagi tanaman.
2. Mendukung pengembangan sistem *Smart Aeroponik* yang berbasis data dengan akurasi tinggi.

1.6 Sistematik penulisan

Penelitian ini disusun dalam beberapa bab dengan sistematis sebagai berikut:

1. BAB I PENDAHULUAN:
Berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, Batasan masalah, dan sistematika penulisan.
2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA:

Mengulas teori teori dan penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian ini.

3. BAB III METODOLOGI PENELITIAN:

Menjelaskan metode yang digunakan dalam perancangan dan implementasi sistem.

4. BAB IV PEMBAHASAN DAN ANALISIS:

Memaparkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan, mencakup hasil analisis hingga hasil uji coba terhadap sistem yang telah dikembangkan

5. BAB V KESIMPULAN DAN SARAN:

Berisi kesimpulan atas penelitian yang telah dilakukan serta memberikan saran untuk pengembangan di masa depan atau untuk aspek-aspek pembaruan lain.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No	Penulis	Judul	Jenis Penulisan	Hasil Pembahasan
1.	(Alfian et al., 2024)	Analisis Kinerja Sensor untuk Pengukuran Kualitas Air pada Hidroponik sistem <i>Nutrient Film Technique</i>	Jurnal	Pada penelitian ini dilakukan dengan pengukuran kualitas air pada hidroponik menggunakan sensor pH, sensor TDS, DS18B20. Data yang terbaca kemudian ditampilkan dalam

				bentuk angka melalui <i>Liquid Crystal Display</i> (LCD). Berdasarkan hasil pengujian selisih rata-rata 3% untuk Nutrisi, 5% untuk suhu, 3% untuk pH
2.	Hartono, et al., 2023).	Monitoring Kualitas Air pada Budidaya Hidroponik Berbasis Arduino	Jurnal	Alat monitoring ini menggunakan Arduino sebagai mikrokontroler, DS18B20 sebagai sensor suhu, sensor pH sebagai sensor kadar air, Data yang terbaca kemudian ditampilkan dalam bentuk angka melalui <i>Liquid Crystal Display</i> (LCD). Berdasarkan hasil pengujian alat dapat bekerja dengan baik.
3.	(Wagino., et al.2023)	Monitoring Kualitas Air dan Kadar Nutrisi Tanaman Hidroponik Berbasis <i>Internet of Things</i>	Jurnal	Alat monitoring ini menggunakan ESP32 sebagai mikrokontroler, sensor Analog <i>Conductivity</i> dan sensor DS18B20 sebagai sensor suhu air, blynk sebagai server Internet of Thing. Pengujian ini membandingkan nilai alat dengan TDS Meter dan dapat selisih rata-rata 4,8%
4.	(Kopriyanto., et al. 2024)	Sistem Monitoring Kualitas Air Hidroponik di AABS Purwokerto	Jurnal	Alat monitoring ini menggunakan Arduino Uno sebagai penerima dan pengolah data serta memproses data sensor yang terhubung, ESP32

		Berbasis <i>Website</i> Menggunakan Metode Prototipe		untuk menghubungkan perangkat ke internet ke data base. Sensor pH dan TDS untuk mengukur kadar air, dan sensor DS18B20 untuk suhu air hasil pengujian ini sensor berjalan dengan baik. Dari data yang dihasilkan terjadi peningkatan suhu air dan penurunan kekeruhan air, kadar pH terlihat naik turun
5.	(Izzinnahdi., et al. 2021)	Sistem Pemantauan Kondisi Air Hidroponik Berbasis <i>Internet of Things</i> Menggunakan Node MCU ESP8266	Jurnal	Alat sistem pemantau ini menggunakan Arduino IDE sebagai penerima dan pengolahan data serta memproses data sensor yang terhubung. Sensor Ultrasonik untuk mengukur ketinggian air, sensor DS18B20 untuk suhu air, dan sensor E-201C untuk kadar pH. Hasil pengujian sensor pH E-201C dan pH meter tidak terlalu signifikan yaitu kisaran $\pm 0,5$. Nilai sensor dapat terbaca menggunakan NodeMCU.
6.	(Ade Kusuma., et al. 2025)	Pemantauan Cerdas Berbasis IoT pada Kualitas air Hidroponik untuk Optimalisasi Pertanian Presisi	Jurnal	Alat pemantauan ini menggunakan ESP8266 untuk mikrokontroler. Sensor DS18B20 untuk mengukur suhu, sensor PH-4502c untuk mengukur kadar pH, sensor TDS untuk mengukur kadar nutrisi pada air, sensor HC-SR04 untuk mengukur

				tingkat ketinggian air. hasil pengujian sistem dapat memantau parameter dengan akurasi tinggi dan respons yang cepat dengan nilai rata-rata 4.8 dari 5, menandakan tingkat kepuasan tinggi.
7.	Denanta, P. D. B., et al. (2020).	Sistem Monitoring Kualitas Air dan Kadar Nutrisi Tanaman Hidroponik Berbasis IoT	Jurnal	Alat ini menggunakan Arduino UNO sebagai penerima dan pengolah data serta memproses data sensor yang terhubung, Raspberry Pi untuk menghubungkan perangkat ke internet ke data base. Sensor TDS untuk mengukur kadar nutrisi, DS18B20 untuk mengukur suhu pada larutan, pH 4502C untuk mengukur kadar keasaman dalam larutan. Hasil pengujian sensor pH stabil di kisaran 6,0-6,5, sensor TDS berkisar 1,2-1,8, sensor DS18B20 berkisar 25°C-28°C menandakan tingkat akurasi dari sensor tersebut cukup memadai untuk digunakan pada sistem pertanian presisi
8.	Ayuningtyas, P. M., & Hadi. Z. (2023).	Perancangan Sistem Monitoring Kualitas Air dan Nutrisi Tanaman Hidroponik Berbasis Android menggunakan NODEMCU	Jurnal	Alat monitoring ini menggunakan NodeMCU ESP32 untuk mikrokontrolernya, sensor pH untuk mengukur tingkat keasaman larutan, sensor TDS untuk mengukur kadar nutrisi,

		ESP32 pada Tanaman Selada		sensor DS18B20 untuk mengukur suhu larutan, ADS115 sebagai konverter sinyal untuk sensor pH dan TDS. Hasil pengujian sistem berhasil membaca sensor dengan akurat dan dapat diakses secara <i>real-time</i> tanpa harus berada dilokasi.
9.	(Wicaksono. A., Widasari. E. R. & Utaminingrum. F. 2017).	Implementasi Sistem Kontrol dan Monitoring pH dan Tanaman Kentang Aeroponik secara Wireless	Journal	Sistem ini menggunakan Arduino Nano dan komunikasi <i>wireless</i> menggunakan modul Nrf2410, menggunakan sensor pH dan suhu. Pengujian menunjukkan tingkat akurasi sensor tinggi, dengan rata-rata error 1%.
10.	(Karna, N., et al., 2023).	Sistem Monitoring dan Kontrol Aeroponik Menuju Smart Greenbox untuk Tanaman Selada berbasis IoT	Journal	Sistem ini menggunakan NODEMCU ESP8266, menggunakan sensor DHT11 untuk kelembapan, sensor LDR untuk intensitas cahaya, Sensor pH untuk kadar ph larutan, sensor Ultrasonik untuk rata-rata kedalaman air. hasil pengujian menunjukkan tingkat akurasi sensor tinggi.

2.2 Teknologi Aeroponik



Gambar 2. 1 Smart aeroponik

Teknologi *aeroponik* adalah teknologi modern untuk mengontrol dan memonitoring berbagai faktor lingkungan yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Teknologi ini mengintegrasikan perangkat keras dan perangkat lunak untuk mengatur kualitas air. Dengan sensor yang dipasang dalam teknologi data seperti pH dan konsentrasi nutrisi dapat dipantau dan disesuaikan secara *real-time* untuk mendukung pertumbuhan tanaman (Karna et al,2023).

Aeroponik merupakan salah satu metode pertanian modern yang tidak menggunakan tanah sebagai media tanamnya. Dalam metode ini, akar digantung di udara dan disemprotkan dengan larutan nutrisi. Aeroponik semakin mendapatkan perhatian sebagai salah satu metode pertanian yang efisien dan ramah lingkungan. Hal ini, disebabkan oleh kemampuannya untuk mendukung pertumbuhan tanaman dengan cepat, penggunaan nutrisi yang efisien, serta pengendalian lingkungan yang lebih optimal (Hugo et al, 2022).

Salah satu keuntungan utama dari metode aeroponik adalah efisiensi penggunaan air yang jauh lebih baik dibandingkan dengan metode pertanian konvensional. Pada sistem ini, air dan nutrisi disemprotkan langsung pada akar tanaman secara berkala, sehingga dapat meminimalkan pemborosan air yang biasanya terjadi pada metode konvensional. Oleh karena itu, *aeroponik* dianggap sebagai metode yang ramah lingkungan dan mendukung berkelanjutan (Tunio et al., 2021).

Pada sistem *aeroponik*, skala produksi dapat diperluas secara signifikan. Teknologi ini memungkinkan penempatan tanaman dalam lapisan yang lebih rapat, sehingga ruang yang tersedia dapat dimanfaatkan secara optimal. Dengan metode ini, jumlah tanaman yang dihasilkan dapat meningkat meskipun dengan area yang digunakan relatif kecil, menjadikan metode ini lebih efisien sekaligus meningkatkan keuntungan dari sektor pertanian (Denanta et al., n.d.).

2.3 High-Pressure Aeroponik

High Pressure Aeroponic (HPA) merupakan sistem aeroponik yang menggunakan pompa bertekanan tinggi dan *nozzle* untuk menyemprotkan larutan nutrisi ke akar tanaman dalam bentuk kabut halus dengan ukuran tetesan kisaran 45 hingga 55 mikrometer. Pada sistem aeroponik bertekanan tinggi, penyemprotan kabut nutrisi ke akar tanaman umumnya sekitar 120 PSI (Goyer and Jones, 2016).

2.4 Measurement System Analysis (MSA)

MSA merupakan sebuah kajian analitis yang bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh dari suatu sistem terhadap proses pengukuran. Sistem ini biasanya mencakup tiga komponen utama, yaitu *appraiser* (individu yang melakukan pembacaan alat ukur), alat ukur, dan objek atau produk yang diukur. Perlu dipahami bahwa hasil pengukuran tidak selalu konsisten, karena dalam praktiknya bisa terjadi variasi yang sering kali tidak disadari. Variasi ini dapat berdampak pada akurasi hasil pengukuran dan pada akhirnya mempengaruhi pengambilan keputusan yang didasarkan pada data tersebut. Terdapat lima jenis kesalahan dalam sistem pengukuran yaitu, bias, *repeatability*, *reproducibility*, *stability*, dan *linearity* (Apriyanto, 2017).

2.5 Akurasi

Akurasi secara umum merujuk pada tingkat ketepatan yang menggambarkan seberapa dekat rata-rata dari satu atau beberapa hasil pengukuran terhadap nilai referensi yang dijadikan acuan. Dalam beberapa institusi atau organisasi, istilah akurasi kadang digunakan secara bergantian dengan bias, meskipun keduanya memiliki makna yang berbeda. Untuk menghindari kesalahpahaman dalam

interpretasi, istilah bias lebih disarankan untuk digunakan ketika menjelaskan letak kesalahan atau penyimpangan dalam hasil pengukuran. Akurasi sendiri dapat dihitung menggunakan rumus persamaan 1 sebagai berikut:

$$\text{Akurasi} = 100\% - \% \text{ Error Pengukuran (1)}$$

(Alfian, et al., 2024).

2.6 Bias (Error)

Bias merupakan pada selisih antara nilai referensi dan rata-rata hasil pengukuran yang dilakukan pada karakteristik atau komponen yang sama. Bias yang sangat besar biasanya disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain:

1. Alat ukur yang memerlukan kalibrasi ulang.
2. Penggunaan alat ukur, peralatan tambahan.
3. Kesalahan dalam memilih aplikasi alat ukur yang sesuai.
4. Variasi dalam metode pengukuran yang digunakan.

Perhitungan error atau kesalahan dapat dilakukan menggunakan rumus persamaan 2 berikut:

$$\% \text{ Error} = \frac{[\text{Pengukuran} - \text{Pengukuran sebenarnya}]}{\text{Pengukuran Sebenarnya}} \times 100\% \quad (2)$$

(Alfian, et al., 2024).

2.7 Internet of Things (IoT)

Internet of Things atau dikenal dengan singkatan IoT, merupakan sebuah konsep yang bertujuan untuk memperluas manfaat dari konektivitas internet yang tersambung secara terus menerus yang memungkinkan kita menghubungkan mesin, peralatan, dan benda fisika lainnya dengan sensor dan aktuator untuk menghasilkan data dan mengelola kinerjanya sendiri, sehingga memungkinkan mesin untuk berkolaborasi dan bahkan bertindak berdasarkan informasi yang diperoleh secara independent (effendi,2018).

Salah satu keunggulan IoT adalah kemampuannya untuk mengumpulkan dan menganalisis data secara *real-time* melalui sensor yang digunakan. Menurut Hari

Mantik, Diera Industri 4.0, konsep IoT telah membuka peluang yang luas untuk mengembangkan berbagai sektor. Dalam konteks ini, IoT merujuk pada jaringan perangkat elektronik yang terhubung melalui internet, yang mampu berkomunikasi dan bertukar data tanpa intervensi manusia (Mantik,2022).

Dalam konteks *aeroponik*, IoT digunakan untuk memantau dan mengontrol parameter penting seperti suhu, kelembapan, dan larutan nutrisi. dengan adanya IoT ini, petani dapat mengakses data dan mengontrol tanamannya secara jarak jauh melalui perangkat mobile atau komputer. Mereka dapat memonitoring kondisi dan mengambil tindakan yang dilakukan, seperti penyemprotan nutrisi tambahan atau penyesuaian suhu tanpa harus berada di tempat (Saputra,2024).

2.8 Kualitas Air dalam Sistem Aeroponik

Kualitas larutan nutrisi dalam sistem aeroponik sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman. Larutan nutrisi ini berfungsi sebagai sumber utama unsur hara yang diserap oleh akar tanaman secara langsung, sehingga komposisi dan stabilitasnya harus terjaga agar kebutuhan fisiologis tanaman terpenuhi secara optimal (Hidayat dan Supriyadi. 2019).

Dua parameter utama yang perlu dipantau adalah pH dan Konsentrasi nutrisi. nilai pH menunjukkan tingkat keasaman atau kebasaan larutan yang sangat mempengaruhi unsur hara, pH yang berada diluar rentang ideal dapat menyebabkan gangguan penyerapan nutrisi. selain itu, konsentrasi nutrisi yang biasanya diukur melalui parameter *Electrical Conduction* (EC) mencerminkan jumlah ion terlarut dalam larutan yang berperan menentukan kecukupan nutrisi bagi tanaman. Pemantauan dan pengendali kedua parameter ini secara akurat dan konsisten sangat vital untuk memastikan pertumbuhan tanaman yang sehat serta hasil panen yang maksimal dalam sistem aeroponik (Denanta et al., n.d.).

2.3.1 PH

PH merupakan faktor yang berpengaruh terhadap ketersediaan unsur hara bagi tanaman dalam sistem aeroponik. pH yang optimal memungkinkan akar tanaman menyerap nutrisi secara efektif, sedangkan pH yang terlalu tinggi dan rendah dapat

menyebabkan kekurangan dan keracunan unsur hara. Dalam sistem aeroponik kisaran pH yang ideal berkisar antara 5 hingga 6,5 dengan nilai optimal berada pada angka 6,0 untuk mendukung penyerapan nutrisi secara maksimal (Tyson., 2007).

Ketidaksesuaian pH dapat menghambat penyerapan nutrisi oleh akar tanaman. Jika pH terlalu rendah (bersifat asam), unsur hara seperti besi (Fe), mangan (Mn), dan aluminium (Al) dapat tersedia dalam jumlah berlebih hingga mencapai tingkat toksik yang merusak akar. Sebaliknya, jika pH terlalu tinggi (bersifat basa), unsur hara penting seperti fosfor, besi, dan seng (Zn) menjadi sulit diserap oleh tanaman, sehingga dapat menyebabkan kekurangan nutrisi dan menghambat pertumbuhan. Oleh karena itu, pemantauan dan penyesuaian pH secara berkala sangat diperlukan dalam sistem aeroponik guna menjaga nutrisi (Zeiger et al., 2010)

Sistem aeroponik modern umumnya dilengkapi dengan sensor pH yang mampu memantau kondisi larutan nutrisi secara real-time dan menyesuaikan secara otomatis menggunakan larutan asam dan basa. Proses penyesuaian ini dilakukan dengan menambahkan zat seperti asam nitrat untuk menurunkan pH, serta kalium hidroksida atau kalsium karbonat untuk meningkatkan pH. Dengan teknologi tersebut, kestabilan pH dapat terjaga, sehingga mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal (Safrimawan, 2019).

2.3.1 Konsentrasi Nutrisi

Nutrisi adalah larutan yang mengandung garam pupuk dan air, yang digunakan sebagai sumber nutrisi untuk tanaman. Larutan ini berfungsi untuk memenuhi kebutuhan unsur hara tanaman agar dapat tumbuh dengan baik. Parameter larutan nutrisi ideal untuk tanaman selada berada di kisaran 560 sampai 840 ppm, sedangkan *Electrical Conductivity* (EC) sebaiknya dijaga sesuai kebutuhan spesifik tanaman. (Marisa et al., 2021).

Sistem aeroponik modern biasanya dilengkapi dengan sensor nutrisi yang dapat memantau kondisi larutan nutrisi secara *real-time* dan secara otomatis menyesuaikan menggunakan larutan asam atau basa. Penyesuaian ini dilakukan dengan menambah

zat yang dibutuhkan. Teknologi ini menjaga kondisi nutrisi tetap stabil untuk mendukung pertumbuhan tanaman yang optimal. (Safrimawan, 2019).

2.9 Sensor

Sensor merupakan jenis transduser yang digunakan untuk mengubah perubahan mekanik, magnetik, termal, optik, dan kimia menjadi sinyal listrik berupa tegangan atau arus. Sensor banyak digunakan untuk keperluan deteksi dalam pengukuran dan pengendalian. Sensor dalam teknik pengukuran dan pengaturan elektronika bertugas mengkonversi besaran fisika, seperti gaya, temperatur, dan kecepatan putaran, menjadi sinyal listrik yang sebanding. Sehingga, banyak sensor menghasilkan sinyal analog, penerapan teknologi digital menghadapi tantangan tersendiri. Dengan perubahan dari sistem analog ke digital menjadi landasan berkembangnya teknologi kendali digital, yang turut mengubah jenis perangkat yang digunakan (Kurniawan. et. al., 2021).

2.10 Sensor PH



Gambar 2. 2 Sensor pH

Sensor pH merupakan alat yang digunakan untuk menentukan tingkat konsentrasi ion *hidrogen* dalam suatu larutan. Baik sensor pH yang digunakan pada media air maupun tanah, perlu dilakukan proses kalibrasi secara berkala untuk menjaga tingkat akurasi. Agar hasil pengukuran sensor pH tetap dapat diandalkan (Refriansyah et., al 2024).

Pada sistem aeroponik, larutan nutrisi yang diberikan kepada tanaman harus berada dalam rentang yang optimal agar tanaman dapat menyerap nutrisi secara

maksimal. Nilai pH yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat menghambat penyerapan nutrisi, yang berakibat pada pertumbuhan tanaman yang tidak optimal (Denanta et al., n.d.).

Tabel 2. 2 Spesifikasi Sensor pH

Nama	Spesifikasi
Supply Voltage	3.3 ~ 5.5V
Output Voltage	0 ~ 3.0V
Probe Connector	BNC
Signal Connector	PH2.0-3P
Measurement Accuracy	$\pm 0.1 @ 25^{\circ}$

2.11 Sensor TDS



Gambar 2. 3 Sensor TDS

Sensor analog TDS adalah alat yang digunakan untuk mengukur tingkat konsentrasi larutan nutrisi. parameter ini penting untuk memastikan bahwa tanaman menerima nutrisi yang cukup. TDS mengindikasikan berapa banyak miligram padatan yang larut dalam satuan liter air. Secara umum, semakin tinggi nilai TDS, semakin banyak padatan larutan dalam air, dan semakin rendah tingkat kebersihan air itu. Oleh karena itu, TDS dapat digunakan sebagai salah satu referensi untuk mengukur tingkat kepadatan larutan nutrisi. (Saputra, 2024).

Sensor TDS mendukung masukan tegangan lebar, yaitu 3,3 – 5,5V dan menghasilkan output tegangan analog antara 0-2,3V, sehingga kompatibel dengan sistem kontrol 5V atau 3,3V. TDS ini dapat tahan air, sehingga dapat digunakan untuk pengukuran jangka Panjang dalam air. (DFRobot, n,d,-b).

Alat ini bisa mengukur berapa jumlah padatan yang terlarut didalamnya dalam satuan ppm yang ditunjukkan berupa angka digital di display sehingga pengguna dapat dengan mudah membaca dan memantau kadar padatan terlarut secara *real-time*. Satuan yang digunakan adalah ppm (*part per million*) atau bagian per sejuta yang merupakan satuan umum dalam pengukuran kualitas air, khususnya untuk mengetahui kadar nutrisi atau mineral terlarut yang penting dalam sistem hidroponik maupun aeroponik (Alfian, et al., 2024).

Tabel 2. 3 Spesifikasi Sensor TDS

Nama	Spesifikasi
Input Voltage	3.3 ~ 5.5V
Output Voltage	0 ~ 2.3V
Working Current	3 ~ 6mA
TDS Measurement Range	0 ~ 1000ppm
TDS Measurement Accuracy	± 10% F S

2.12 Mikrokontroler



Gambar 2. 4 Gambar Mikrokontroler

Mikrokontroler Lyligo T-Relay S3 ESP32 S3: sistem ini menggunakan mikrokontroler Lyligo T-Relay S3 ESP32 S3 ini merupakan modul berbasis ESP32-S3, yang telah dilengkapi dengan konektivitas wi-fi, sehingga sangat mendukung sistem berbasis *Internet of Things (IoT)*. Mikrokontroler ini bertindak sebagai otak dari sistem pemantauan dan kontrol untuk mengumpulkan data dari sensor yang terpasang seperti sensor pH dan sensor TDS, kemudian memproses data tersebut untuk menghasilkan informasi yang dapat ditindaklanjuti. Mikrokontroler dapat untuk mengirim data ke server, selain itu juga dapat menjadi alarm atau notifikasi jika parameter berada di luar batas yang ditentukan. Hal ini dapat memungkinkan tindakan cepat diambil untuk mencegah kerugian. (Mahendiran, 2025).

Selain berfungsi sebagai pemrosesan data, mikrokontroler ini juga mampu mengirimkan data secara *real-time* ke server atau platform IoT, sehingga pengguna dapat memantau kondisi kualitas air secara jarak jauh melalui aplikasi atau dashboard. Modul lyligo T-relay S3 ini juga memiliki fitur tambahan seperti relay internal, yang memungkinkan pengendali perangkat eksternal (misalnya pompa, katup solenoid, atau sistem penyemprotan) tanpa perlu menggunakan modul relay tambahan. Hal ini menjadikan mikrokontroler ini efisien dan praktis digunakan dalam sistem aeroponik pintar berbasis high-pressure (Kurniawan, et. al., 2021).

Tabel 2. 4 Spesifikasi Mikrokontroler

Nama	Spesifikasi
MCU	ESP32-S3-Wroom-1UXtensa dual— core 32-bit LX7

Flash	6MB
PSRAM	8MB
Wireless	Wi-fi: 802.11 b/g/n; Bluetooth LE: Bluetooth 5
Onboard Functions	Relay X 6, Reset + Boot Button

2.13 Web

Website adalah halaman informasi yang disediakan melalui jalur internet sehingga bisa diakses di seluruh dunia selama terkoneksi dengan jaringan internet website merupakan komponen atau kumpulan komponen terdiri dari teks, gambar, suara animasi sehingga merupakan media informasi yang menarik untuk dikunjungi. Web sering disingkat *website* adalah sebutan bagi sekelompok halaman web (*web page*), *www* terdiri dari seluruh situs web yang tersedia kepada publik. Halaman-halaman sebuah web diakses dari sebuah URL yang menjadi “akar”. (Syachromdho n et, al., 2022).

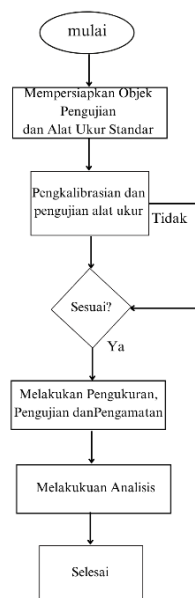
Website terdiri dari satu atau lebih halaman web (*web pages*) yang saling terhubung melalui tautan dan diatur dalam satu domain tertentu. Setiap halaman web biasanya memiliki *Uniform Resource Locator* (URL) yang berfungsi sebagai alamat digital agar halaman tersebut dapat diakses oleh *browser*. Kumpulan halaman web yang berada dalam satu struktur atau domain ini secara umum disebut sebagai situs web. *Website* juga dapat digunakan sebagai dashboard monitoring untuk menampilkan data sensor secara *real-time* kepada pengguna melalui tampilan grafis dan numerik (Nugroho dan Bunafit. 2019).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Tahapan ini merupakan suatu pendekatan menjelaskan seluruh alur penelitian yang penulis lakukan. Berikut tahapan yang penulis lakukan dalam penelitian ini:



Gambar 3. 1 Flowchart Sistem Pengujian

1. Mulai

Penelitian ini diawali dengan identifikasi permasalahan utama yang dihadapi dalam sistem ini. Tantangan yang muncul bagaimana akurasi dan respons sensor dalam sistem IoT yang digunakan di smart aeropnik. untuk pertumbuhan optimal tanaman, sehingga solusi yang dicapai dapat memberikan solusi bagi petani untuk mendapatkan tanaman yang optimal.

2. Persiapan Alat Uji, Alat Uji Standar, dan Objek Uji

Pada tahap ini, dilakukan pemeriksaan fisik alat uji, kalibrasi awal alat uji standar, dan dokumentasi kondisi awal objek uji. Persiapan ini meliputi verifikasi dokumentasi *standar operasional prosedur* (SOP), pemastian personel memiliki kompetensi sesuai kebutuhan, dan penyusunan daftar periksa untuk alat dan kebutuhan pengujian lainnya.

3. Pengujian dan kalibrasi alat uji

Tahap ini meliputi pengujian parameter alat dengan simulasi pengukuran terhadap objek kontrol, pencatatan nilai-nilai yang dihasilkan oleh alat uji dibandingkan dengan alat uji standar, dan analisa perbedaan hasil pengujian. Tujuan dari tahap ini adalah untuk memastikan alat uji mampu memberikan hasil yang konsisten dan akurat. Analisis data

4. Evaluasi Hasil Pengujian (Apakah Sesuai?)

Pada tahap ini, hasil pengujian dianalisis untuk menentukan apakah alat uji memenuhi standar yang ditetapkan. Jika hasil pengujian sesuai dengan kriteria yang telah ditentukan, maka proses dilanjutkan ke tahap berikutnya.

5. Penyesuaian Kalibrasi Alat

Jika hasil pengujian tidak sesuai, dilakukan penyesuaian kalibrasi pada alat uji untuk memperbaiki parameter yang tidak sesuai. Tahap ini meliputi pengaturan ulang pengukuran internal alat, pengujian ulang hingga hasil memenuhi kriteria akurasi, dan dokumentasi perubahan parameter pada alat uji.

6. Pengukuran, Pengujian, dan pengamatan

Setelah alat uji dikalibrasi, proses dilanjutkan dengan pengujian pada objek untuk mengukur parameter tertentu. Langkah ini dilakukan secara sistematis dengan mencatat semua data pengukuran secara rinci.

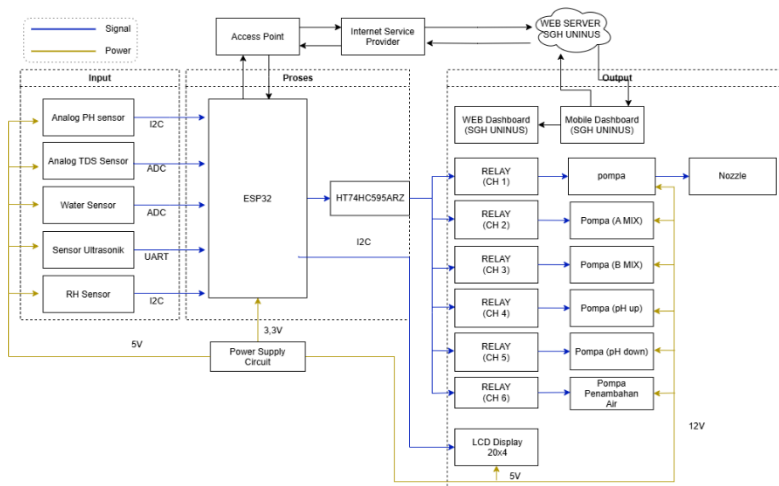
7. Analisis Hasil Pengukuran

Setelah alat uji dikalibrasi, proses dilanjutkan dengan pengujian pada objek untuk mengukur parameter tertentu. Langkah ini dilakukan secara sistematis dengan mencatat semua data pengukuran secara rinci.

8. Selesai

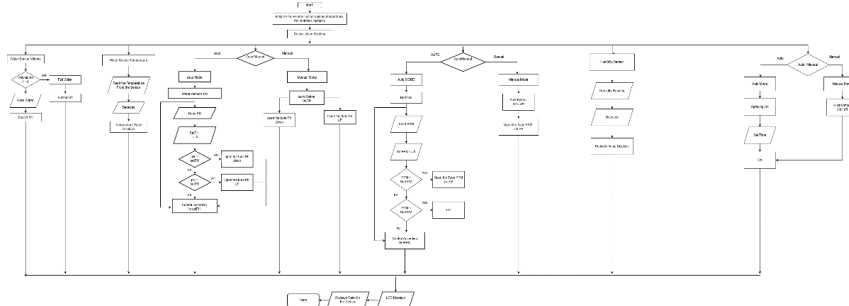
Penelitian ini diselesaikan dengan merangkum temuan-temuan penting dan memberikan kesimpulan yang komprehensif mengenai kinerja sensor untuk kualitas air pada sistem smart aeroponik. Kesimpulan ini mencakup rekomendasi untuk kinerja sensor serta usulan perbaikan dimasa mendatang.

3.2 Diagram Blok



Gambar 3. 2 Blok Diagram Sistem

3.3 Flowchart Sistem



Gambar 3. 3 Flowchart Sistem

Pada flowchart diatas proses dimulai dengan pembacaan sensor suhu. Jika metode otomatis dipilih, maka akan melakukan pengecekan nilai suhu. Jika nilai suhu melebihi batas maka kipas akan menyala untuk menurunkan suhu. Selanjutnya sensor TDS, jika memilih mode otomatis sistem akan menganalisis. Apabila nilai TDS rendah maka pompa A akan aktif untuk menambahkan larutan nutrisi ke dalam sistem. jika nilai TDS melebihi ambang batas, maka pompa B akan aktif. Selanjutnya

pada sensor pH dalam metode otomatis sistem akan mengaktifkan pH up untuk meningkatkan nilai pH. Jika pH terlalu tinggi, pompa pH down akan menyala untuk menurunkan nilai larutan pH. Selanjutnya sensor kelembapan, jika nilai kelembapan berada pada di bawah ambang minimum, sistem secara otomatis akan mengaktifkan pompa untuk menjaga kelembapan tetap optimal.

3.4 Metode Pengambilan Data

Dalam penelitian ini, metode pengumpulan data dilakukan melalui observasi langsung kelapangan. Proses pengumpulan data mencakup serangkaian pengujian terhadap alat yang digunakan untuk mengukur tingkat pH dan konsentrasi nutrisi dalam sistem aeroponik. pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi akurasi sensor yang terintegritas dalam sistem. Hasil pembacaan dari sensor tersebut kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran dari alat ukur standar sebagai pembanding, yaitu pH meter untuk pengukuran tingkat keasaman dan TDS meter untuk mengukur konsentrasi nutrisi. langkah ini penting untuk memastikan bahwa sensor dalam sistem aeroponik mampu memberikan data yang valid dan dapat diandalkan.

3.5 Analisis Data

Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini, Data yang telah dikumpulkan akan dianalisis menggunakan metode. Statistik. Analisis ini bertujuan untuk menghitung tingkat kesalahan (*error*) dan akurasi dari hasil pengukuran yang diperoleh melalui sensor, baik sensor pH maupun sensor nutrisi (TDS). Melalui proses ini, peneliti dapat menilai sejauh mana sensor mampu memberikan besar penyimpangan antara data sensor dengan alat ukur pembanding, sedangkan nilai akurasi menunjukkan kedekatan antara hasil pengukuran sensor dengan sebenarnya. Evaluasi ini sangat penting untuk mengetahui kinerja secara menyeluruh, terutama dalam kaitan dengan upaya menjaga kualitas air dalam sistem aeroponik agar tetap berada dalam batas optimal yang mendukung pertumbuhan tanaman.

3.6 Metode penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan eksperimental yang secara langsung ke lapangan untuk mengukur dan menganalisis kinerja sensor

pH dan nutrisi dalam mengukur kualitas air pada smart aeroponik. Pendekatan ini memungkinkan pengumpulan data secara langsung melalui sensor yang diintegrasikan dalam sistem aeroponik dengan menggunakan sistem (*High-pressure aeroponik*).

Populasi dalam penelitian ini mencakup sistem smart aeroponik yang tersedia di laboratorium *smart greenhouse* Universitas Islam Nusantara, sementara sampel diambil dengan metode sampling, dimana unit yang dipilih adalah sistem yang telah diuji dan dioperasikan dalam kondisi optimal untuk menghasilkan data yang konsisten.

3.7 Kerangka berfikir

3.6.1 Latar Belakang

Teknologi aeroponik adalah teknologi modern untuk mengontrol dan memonitoring berbagai faktor lingkungan yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Teknologi ini mengintegrasikan perangkat keras dan perangkat lunak untuk mengatur kualitas air. Dengan sensor yang dipasang dalam teknologi data seperti pH dan konsentrasi nutrisi dapat dipantau dan disesuaikan secara real-time untuk mendukung pertumbuhan tanaman (Karna et al,2023).

Sistem aeroponik merupakan metode pertanian modern yang tidak menggunakan tanah tetapi menyemprot nutrisi dalam bentuk kabut langsung ke akar tanaman. Salah satu keuntungan utama dari metode aeroponik adalah efisiensi penggunaan air yang jauh lebih baik dibandingkan dengan metode pertanian konvensional. Pada sistem ini, air dan nutrisi disemprotkan langsung pada akar tanaman secara berkala, sehingga dapat meminimalkan pemborosan air yang biasanya terjadi pada metode konvensional. Oleh karena itu, aeroponik dianggap sebagai metode yang ramah lingkungan dan mendukung berkelanjutan (Hugo et al, 2022).

3.6.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan menganalisis kinerja sensor pH dan nutrisi (TDS) yang digunakan dalam sistem aeroponik berbasis IoT dengan metode *high-pressure aeroponik*. Fokus utama dari penelitian ini adalah untuk menilai sejauh

mana sensor-sensor tersebut mampu memberikan data yang akurat dan stabil dalam memantau parameter kualitas air, seperti tingkat keasaman (pH) dan konsentrasi nutrisi (ppm), yang sangat penting bagi perumbuhan tanaman. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor dengan alat ukur standar, guna mengetahui tingkat akurasi (kesesuaian dengan nilai referensi) serta stabilitas (konsistensi pembacaan) dari masing-masing sensor selama proses operasional sistem berlangsung.

3.6.3 Hipotesis

Hipotesis yang diajukan dalam penelitian ini adalah penggunaan sensor pH dan nutrisi yang diintegrasikan dalam sistem aeroponik berbasis IoT dengan metode *high-pressure aeroponik* mampu memberikan data yang akurat dan konsisten. Dengan integritas ini, sistem diharapkan dapat melakukan pemantauan kualitas air secara *real-time*, baik dari segi tingkat keasaman larutan (pH) maupun konsentrasi nutrisi yang terlarut. Akurasi tinggi dalam pembacaan sensor penting untuk menjamin bahwa tanaman mendapatkan lingkungan tumbuh yang optimal.

Selain itu juga, stabilitas sensor selama periode pemantauan juga diuji untuk memastikan bahwa sistem ini dapat diandalkan. Oleh karena itu, hipotesis ini menekankan bahwa penerapan teknologi sensor dalam sistem *high-pressure aeroponik* berbasis IoT dapat menjadi solusi efektif dalam manajemen kualitas larutan secara otomatis dan presisi.

3.6.4 Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini ada dua jenis variabel yaitu variabel bebas dan terkait. variabel bebasnya adalah kualitas larutan, yang meliputi pH dan nutrisi. kedua parameter ini berperan sebagai faktor yang mempengaruhi variabel lainnya. sedangkan variabel terkait adalah akurasi pembacaan sensor pH maupun sensor TDS, serta tingkat kestabilan performa sensor selama periode pengamatan. Artinya, perubahan pada kualitas larutan akan diamati dampaknya terhadap ketelitian dan konsistensi sensor yang digunakan dalam sistem aeroponik berbasis IoT. Hubungan antar variabel ini dianalisis untuk menilai kinerja sensor dalam lingkungan budidaya yang dinamis.

3.6.5 Teori yang digunakan

Teori yang digunakan dalam penelitian ini adalah mengenai perhitungan *error*, akurasi pembacaan sensor dan alat ukur standar. Dalam penelitian ini didasarkan menggunakan teori statistik untuk menilai kinerja sensor dengan pendekatan sistematis yang digunakan dalam menganalisis hubungan antara pembacaan sensor dengan alat ukur standar untuk mengevaluasi sejauh mana akurasi, *error* dan kestabilan performa sensor sistem aeroponik jika dibandingkan dengan alat ukur konvensional. Dengan menggunakan teori statistic, penelitian ini dapat memberikan gambaran yang valid mengenai keandalan sensor dalam memonitoring kualitas air.

3.6.6 Rencana Pengujian

Rencana pengujian dalam penelitian ini direncanakan selama 3 hari dalam 1 hari 10 data dengan interval 10 menit, dilakukan di laboratorium smart greenhouse Universitas Islam Nusantara. Kegiatan pengujian ini difokuskan pada pengumpulan dan evaluasi data sensor yang mencakup pengambilan tingkat akurasi pembacaan sensor pH dan nutrisi. dilakukan pengukuran secara berkala untuk memantau kestabilan hasil pembacaan sensor terhadap variasi kualitas larutan nutrisi dan dibandingkan dengan alat ukur standar untuk mengetahui *error*, sehingga dapat dianalisis akurasi dan kestabilan dari sensor pada smart aeroponik berbasis IoT.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Implementasi

Sistem aeroponik berbasis IoT yang berhasil dirancang dan diimplementasikan di laboratorium Smart Green House Universitas Islam Nusantara. Sistem ini terdiri dari sensor TDS dan sensor pH yang diintegrasikan dengan mikrokontroler Lyligo T-Relay ESP32-S3, serta *platform* pemantauan berbasis web. Larutan nutrisi disemprotkan ke akar tanaman melalui *nozzle* bertekanan tinggi, menghasilkan partikel kabut halus untuk efisiensi penyerapan nutrisi.

Platform monitoring berhasil menampilkan data *real-time* dan memberikan notifikasi ketika nilai pH dan TDS berada diluar batas optimal. Sistem ini juga

memungkinkan operator untuk melakukan penyesuaian pH dan Konsentrasi nutrisi secara cepat dan efisien.

4.1.1 Sensor TDS

Sensor TDS dalam sistem ini diletakan pada bak penampungan air, yang berfungsi sebagai media utama untuk mendeteksi tingkat akurasi. Hasil implementasi sensor TDS. Sensor TDS digunakan untuk mengukur kadar nutrisi pada aeroponik, sehingga petani atau sistem otomatis dapat mengetahui apakah larutan masih berada dalam rentang konsentrasi optimal bagi pertumbuhan. Pin out dari sensor tds untuk tegangan sumber 5v dan pin analog (11). Data digital dihasilkan kemudian diolah untuk ditampilkan dan dianalisis lebih lanjut, termasuk untuk menghitung akurasi serta mendeteksi kestabilan kadar nutrisi dalam waktu tertentu.

4.1.2 Sensor pH

Sensor pH dalam sistem ini diletakan pada bak penampungan air, yang berfungsi sebagai media utama untuk mendeteksi tingkat akurasi. Hasil implementasi sensor pH. Sensor pH digunakan untuk mengukur kadar pH pada aeroponik, sehingga petani atau sistem otomatis dapat mengetahui apakah kadar pH masih beda dalam rentang kadar optimal bagi pertumbuhan. Pin out dari sensor pH untuk tegangan sumber 5v dan pin analog (13). Data digital dihasilkan kemudian diolah untuk ditampilkan dan dianalisis lebih lanjut, termasuk untuk menghitung akurasi serta mendeteksi kestabilan kadar pH dalam waktu tertentu.

4.2 Hasil Pengujian

Pengujian terhadap hasil pengukuran dilakukan dengan membandingkan data yang diperoleh dari sensor (seperti sensor pH dan nutrisi) dengan data dari alat ukur standar seperti TDS meter dan pH meter. Tujuan dari Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi seberapa tingkat akurasi dan stabilitas sensor yang digunakan dalam sistem. Selisih antara hasil pembacaan sensor dengan alat ukur kemudian dianalisis untuk mengetahui nilai *error* (kesalahan pengukuran) yang dihasilkan oleh masing-masing sensor. Nilai *error* ini menjadi indikator kinerja sensor dalam konteks pemantauan kualitas air secara *real-time* pada sistem smart aeroponik berbasis IoT.

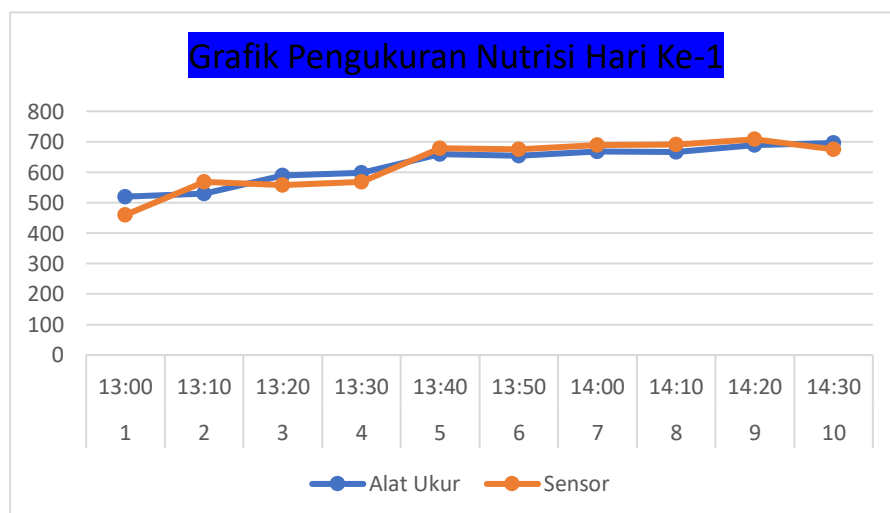
4.2.1 Sensor TDS

Sensor TDS dilakukan pengujian untuk mengetahui tingkat akurasi. Hasil dari pembacaan sensor dibandingkan dengan alat ukur standar yaitu TDS meter. Sensor TDS berfungsi untuk mengukur kadar nutrisi pada air, kemudian membandingkan hasil yang diperoleh dari sensor dengan hasil dari TDS meter sebagai acuan. Pengambilan data melalui database yang sebelumnya telah dikonfigurasi untuk membuat data laporan dalam interval waktu 10 menit dan alat ukur diambil secara manual menggunakan alat ukur yang telah dikalibrasi sebelumnya.

Tabel 4. 1 Pengukuran Sensor TDS Hari ke-1

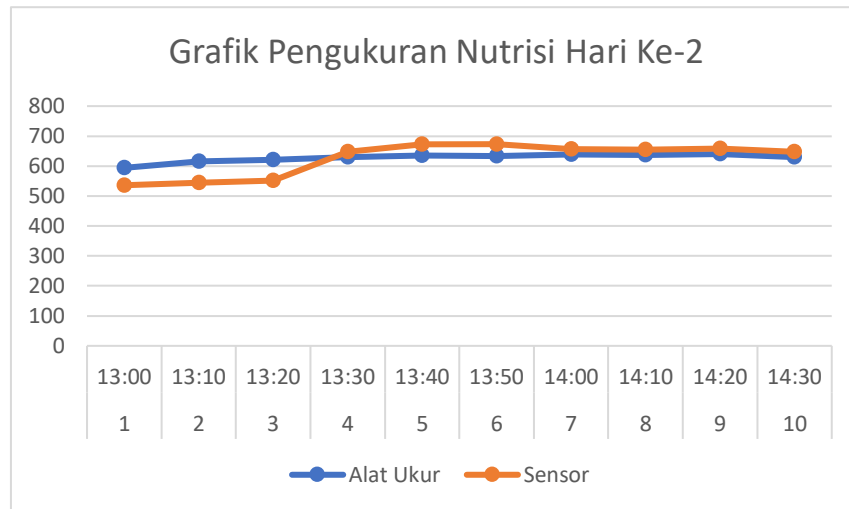
No	Nutrisi		
	Waktu	Alat Ukur	Sensor
1	13:00	520 ppm	460 pmm
2	13:10	529 ppm	568 ppm
3	13:20	589 ppm	558 ppm
4	13:30	598 ppm	569 ppm
5	13:40	659 ppm	678 ppm
6	13:50	655 ppm	675 ppm
7	14:00	668 ppm	690 ppm
8	14:10	667 ppm	691 ppm
9	14:20	689 pmm	708 ppm
10	14:30	696 pmm	676 ppm

Pengukuran TDS (*Total Dissolved Solids*) dilakukan menggunakan dua perangkat, yaitu sensor dan alat ukur standar, dengan interval waktu setiap 10 menit mulai dari pukul 13:00 hingga 14:30. Data ini merekam perubahan nilai pH air dalam periode



waktu tersebut. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa nilai pH yang dicatat oleh sensor berkisar antara 460 ppm hingga 708 ppm, sedangkan hasil dari alat ukur berkisar antara 520 ppm hingga 696 ppm.

Gambar 4. 1 Grafik Sensor TDS Hari Ke-1



Gambar 4. 2 Grafik Sensor TDS Hari Ke-2

Grafik diatas menunjukkan hubungan antara hasil pengukuran *Total Dissolved Solid* (TDS) oleh sensor dengan nilai acuan dari alat ukur pembanding. Berdasarkan grafik menunjukkan pada awal pikul 13:00, nilai sensor berada dibawah nilai alat ukur (sekitar 470 dan 520). Hal ini bisa disebabkan oleh *delay* pembacaan sensor, proses stabilisasi larutan, dan pada pukul 13:10 nilai sensor sedikit melampaui nilai alat ukur, ini menunjukkan bahwa sensor merespon perubahan kadar nutrisi dengan cepat meskipun fluktuasi masih terjadi. Dan pada pukul 13:30 keatas grafik menunjukkan penyelarasan antara sensor dan alat ukur, dimana selisih nilai mulai mengecil dan grafik keduanya bergerak relative.

Selanjutnya pengambilan data akan dilakukan pada hari ke-dua dengan waktu yang sama yaitu pada pukul 13:00 hingga 14:30 dengan interval 10 menit.

Tabel 4. 2 Pengukuran Sensor TDS Hari ke-2

No	Nutrisi		
	Waktu	Alat Ukur	Sensor

1	13:00	594 ppm	516 ppm
2	13:10	615 ppm	654 ppm
3	13:20	620 ppm	667 ppm
4	13:30	629 ppm	688 ppm
5	13:40	635 ppm	707 ppm
6	13:50	633 ppm	686 ppm
7	14:00	638 ppm	707 ppm
8	14:10	637 ppm	700 ppm
9	14:20	640 ppm	710 ppm
10	14:30	630 ppm	698 ppm

Pengukuran TDS (*Total Dissolved Solids*) dilakukan menggunakan dua perangkat, yaitu sensor dan alat ukur standar, dengan interval waktu setiap 10 menit mulai dari pukul 13:00 hingga 14:30. Data ini merekam perubahan nilai pH air dalam periode waktu tersebut. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa nilai pH yang dicatat oleh sensor berkisar antara 516 ppm hingga 710 ppm, sedangkan hasil dari alat ukur berkisar antara 594 ppm hingga 640 ppm.

Grafik diatas menunjukkan hubungan antara hasil pengukuran *Total Dissolved Solid* (TDS) oleh sensor dengan nilai acuan dari alat ukur pembanding. Berdasarkan grafik menunjukkan pada awal pukul 13:00, terdapat nilai yang cukup mencolok antara sensor dan alat ukur. nilai sensor berada dibawah nilai alat ukur sekitar 540 – 560 dibandingkan dengan alat ukur yang sudah mencapai 600-620. Hal ini bisa disebabkan oleh delay pembacaan pada sensor, dan pada pukul 13:30 nilai sensor sedikit melampaui nilai alat ukur, ini menunjukkan bahwa sensor merespon perubahan kadar nutrisi dengan cepat meskipun fluktuasi masih terjadi. Dan pada pukul 13:40 keatas grafik menunjukkan penyelarasan antara sensor dan alat ukur, dimana selisih nilai mulai mengecil dan grafik keduanya bergerak relative.

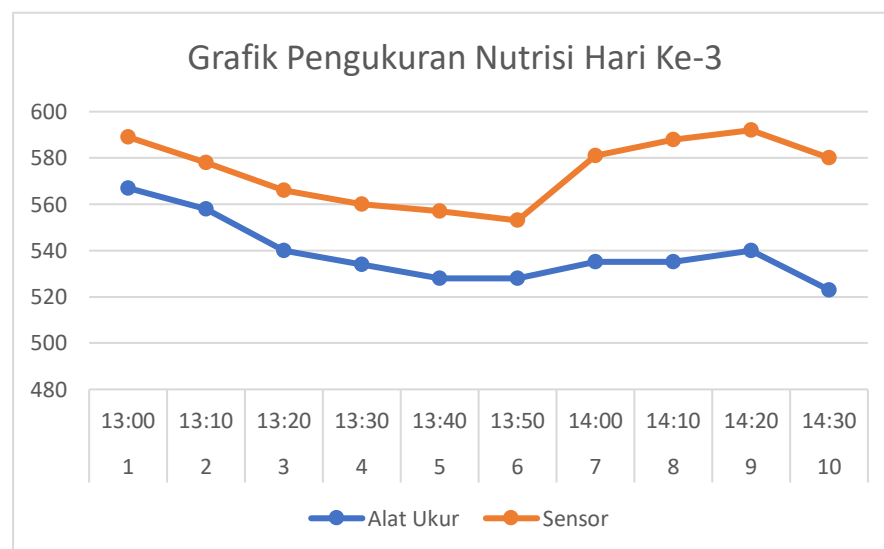
Selanjutnya pengambilan data akan dilakukan pada hari ke-dua dengan waktu yang

Tabel 4. 3 Pengukuran Sensor TDS Hari Ke-3

No	waktu	Nutrisi	
		Alat Ukur	Sensor
1	13:00	567 ppm	623 ppm
2	13:10	558 ppm	618 ppm

3	13:20	540 ppm	606 ppm
4	13:30	534 ppm	569 ppm
5	13:40	520 ppm	577 ppm
6	13:50	518 ppm	553 ppm
7	14:00	535 ppm	582 ppm
8	14:10	535 ppm	588 ppm
9	14:20	540 ppm	592 ppm
10	14:30	523 ppm	580 ppm

Hasil Pengukuran TDS (*Total Dissolved Solids*) dilakukan menggunakan dua perangkat, yaitu sensor dan alat ukur standar, dengan interval waktu setiap 10 menit mulai dari pukul 13:00 hingga 14:30. Data ini merekam perubahan nilai pH air dalam periode waktu tersebut. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa nilai pH yang dicatat oleh sensor berkisar antara 533 ppm hingga 623 ppm, sedangkan hasil dari alat ukur berkisar antara 518 ppm hingga 567 ppm.



Gambar 4. 3 Grafik Pengukuran Sensor TDS Hari Ke-3

Grafik diatas menunjukkan hubungan antara hasil pengukuran *Total Dissolved Solid* (TDS) oleh sensor dengan nilai acuan dari alat ukur pembanding. Berdasarkan grafik menunjukan pada awal pukul 13:00 hingga 13:50, menunjukan penurunan nilai nutrisi. Pada pukul 14:00 hingga 14:20 terjadi peningkatan nilai nutrisi yang terbaca oleh sensor, sedangkan alat ukur standar menunjukan peningkatan yang lebih kecil dan cenderung stabil. Nilai sensor secara konsisten mencatat angka yang lebih tinggi

dibandingkan alat ukur, perbandingan paling mencolok terjadi pada pukul 14:10 dan 14:20, dimana sensor membaca nilai mendekati 590 ppm, sedangkan alat ukur berada pada kisaran 535-540 ppm.

Meskipun terjadi selisih, pola perubahan nilai tetap searah, artinya sensor masih dapat merepresentasikan tren perubahan konsentrasi nutrisi. untuk monitoring otomatis dalam sistem aeroponik menunjukan performa yang cukup baik, terutama dalam mendeteksi perubahan secara real-time. Namun, diperlukan kalibrasi berkala untuk meminimalkan *error* dan meningkatkan akurasi pengukuran.

4.2.2 Sensor pH

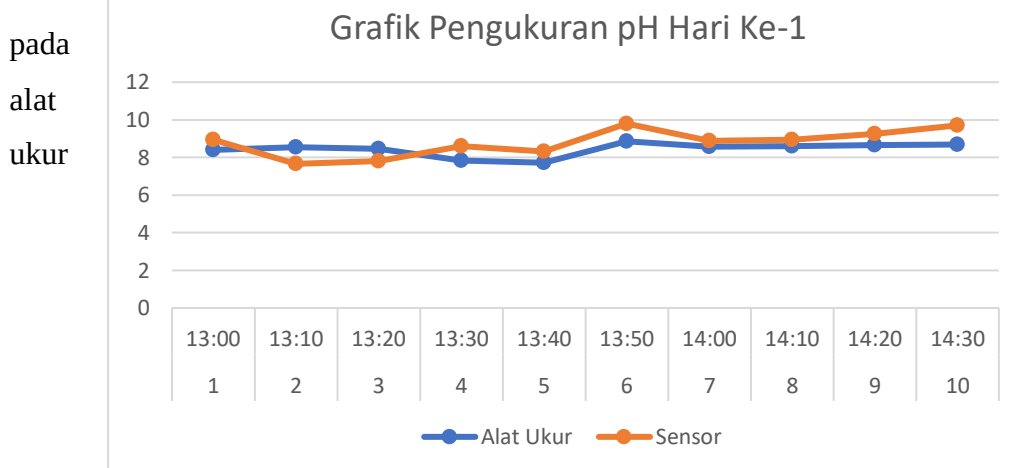
Sensor pH dilakukan pengujian untuk mengetahui tingkat akurasi. hasil dari pembacaan sensor dibandingkan dengan alat ukur standar yaitu pH meter. Sensor pH berfungsi untuk mengukur kadar tingkat keasaman dan kebasaan (pH) pada air. kemudian membandingkan hasil yang diperoleh dari sensor dengan hasil dari pH meter sebagai acuan. Pengambilan data melalui database yang sebelumnya telah dikonfigurasi untuk membuat data laporan dalam interval waktu 10 menit dan alat ukur diambil secara manual menggunakan alat ukur yang telah dikalibrasi sebelumnya.

Tabel 4. 4 Tabel Pengukuran Sensor pH Hai ke-1

No	pH		
	Waktu	Alat Ukur	Sensor
1	10:00	8,4	8,95
2	10:10	8,55	7,66
3	10:20	8,45	7,8
4	10:30	7,84	8,61
5	10:40	7,72	8,32
6	10:50	8,86	9,8
7	11:00	8,57	8,89
8	11:10	8,6	8,95
9	11:20	8,66	9,24
10	11:30	8,69	9,7

Pengukuran pH dilakukan menggunakan dua perangkat, yaitu sensor dan alat ukur standar, dengan interval waktu setiap 10 menit mulai dari pukul 10:00 hingga 11:30. Data ini merekam perubahan nilai pH air dalam periode waktu tersebut. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa nilai pH yang dicatat oleh sensor berkisar antara 7,66 hingga 9,8, sedangkan hasil dari alat ukur berkisar antara 7,72 hingga 8,86.

Grafik diatas menunjukkan hubungan antara hasil pengukuran pH oleh sensor dengan nilai acuan dari alat ukur pembanding. Berdasarkan grafik menunjukan pada awal pengukuran pukul 13:00 nilai pH yang tercatat oleh sensor sedikit lebih tinggi dari



manual.

Gambar 4. 4 Grafik Pengukuran Sensor pH Hari Ke-1

Sensor

mencatat nilai antara 8,5-8,8, sedangkan alat ukur 8,0-8,4, selisih ini menunjukkan adanya *deviasi* kecil pada awal pengukur.

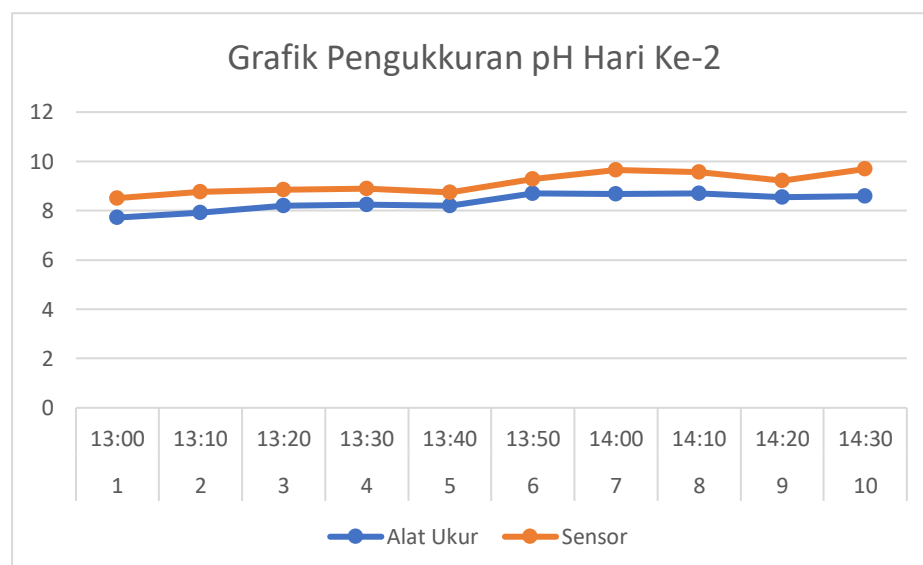
Namun, pada pukul 13:40 hingga 13:50 terjadi peningkatan tajam pada nilai pH yang dibaca oleh sensor hingga nilai maksimum 9,8, sementara alat ukur mencatat nilai maksimum 9,0 pada waktu yang sama. Hal ini menunjukkan lonjakan pH yang ditangkap oleh sensor, meski nilainya cenderung sedikit lebih tinggi dibandingkan alat ukur. Setelah pukul 14:00, grafik menunjukkan stabilisasi, dimana nilai pH dari sensor dan alat ukur, selisih antar keduanya menjadi relatif kecil dan konsisten.

Selanjutnya pengambilan data akan dilakukan pada hari ke-dua dengan waktu yang

Tabel 4. 5 Tabel Pengukuran Sensor pH Hari ke-2

No	pH		
	Waktu	Alat Ukur	Sensor
1	13:00	7,72	8,51
2	13:10	7,92	8,77
3	13:20	8,2	8,85
4	13:30	8,24	8,89
5	13:40	8,2	8,74
6	13:50	8,7	9,28
7	14:00	8,67	9,65
8	14:10	8,7	9,56
9	14:20	8,54	9,21
10	14:30	8,59	9,69

Pengukuran pH pada hari kedua dilakukan menggunakan dua perangkat, yaitu sensor dan alat ukur standar, dengan interval waktu setiap 10 menit mulai dari pukul 13:00 hingga 14:30. Data ini merekam perubahan nilai pH air dalam periode waktu tersebut. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa nilai pH yang dicatat oleh sensor berkisar antara 8, 51 hingga 9,69, sedangkan hasil dari alat ukur berkisar antara 7,72 hingga 8,7.



Gambar 4. 5 Grafik Pengukuran Sensor pH Hari Ke-2

Grafik diatas menunjukkan hubungan antara hasil pengukuran pH oleh sensor dengan nilai acuan dari alat ukur pembanding. Berdasarkan grafik menunjukkan pada awal pengukuran pukul 13:00-13:30, terlihat bahwa terlihat bahwa nilai pH dari sensor berada sedikit lebih tinggi dari alat ukur, yakni di kisaran 8,5-8,8 dibandingkan dengan alat ukur 7,6-8,1. Hal ini menunjukkan bahwa sensor secara konsisten mencatat nilai pH lebih tinggi. Pada pukul 13:50 hingga 14:00, sensor mencatat nilai hingga 9,7, sedangkan alat ukur mencapai 9,7, menunjukkan adanya respons yang cukup sensitif terhadap perubahan lingkungan oleh sensor.

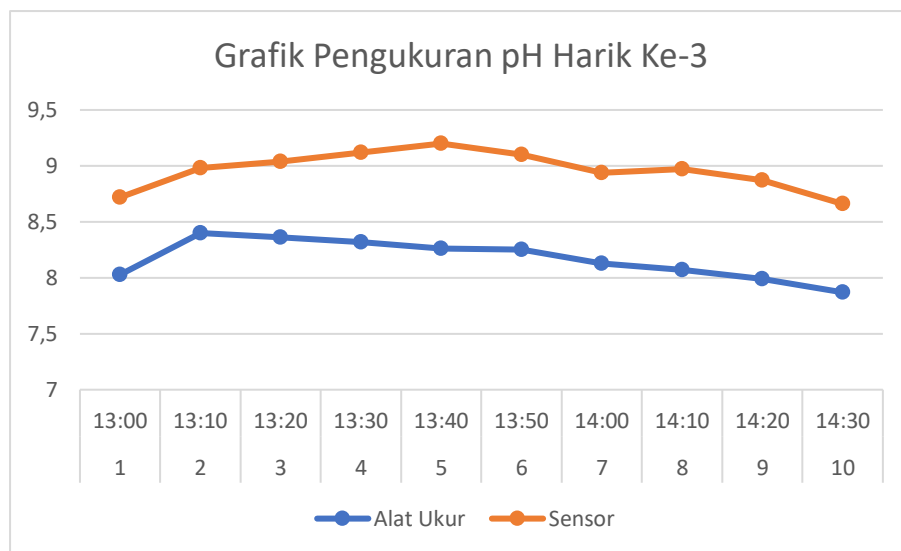
Namun, setelah pukul 14:10 nilai pH dari alat ukur mengalami sedikit penurunan dan stabil di kisaran 8,6-8,7 sedangkan sensor berada tetap mencatat nilai pH tinggi. Sensor menunjukkan pola yang konsisten dan searah dengan alat ukur, meskipun terdapat deviasi dan nilai sensor cenderung lebih tinggi namun masih berada dalam batas wajar.

Selanjutnya pengambilan data akan dilakukan pada hari ke-tiga dengan waktu yang.

Tabel 4. 6 Pengukuran Sensor pH Hari ke-3

No	Waktu	Alat Ukur	Sensor
1	13:00	8,03	8,72
2	13:10	8,4	8,98
3	13:20	8,36	9,04
4	13:30	8,32	9,12
5	13:40	8,26	9,2
6	13:50	8,25	9,1
7	14:00	8,13	8,94
8	14:10	8,07	8,97
9	14:20	7,99	8,87
10	14:30	7,87	8,66

Pengukuran pH pada hari kedua dilakukan menggunakan dua perangkat, yaitu sensor dan alat ukur standar, dengan interval waktu setiap 10 menit mulai dari pukul 13:00 hingga 14:30. Data ini merekam perubahan nilai pH air dalam periode waktu tersebut. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa nilai pH yang dicatat oleh sensor berkisar antara 8,66 hingga 9,12, sedangkan hasil dari alat ukur berkisar antara 7,87 hingga 8,4.



Gambar 4. 6 Grafik Pengukuran Sensor pH Hari Ke-3

Grafik diatas menunjukkan hubungan antara hasil pengukuran pH oleh sensor dengan nilai acuan dari alat ukur pembanding. Berdasarkan grafik menunjukkan tren yang relatif stabil dari kedua alat, meskipun terdapat sedikit perbedaan nilai anetara alat ukur dan sensor, nilai pH yang terukur oleh alat ukur berada pada rentang 7,9 hingga 8,4, sedangkan nilai yang diukur oleh sensor sedikit lebih tinggi, yaitu berada 8,7 hingga 9,2. Hal ini menunjukkan bahwa sensor cenderung memberikan hasil pengukuran yang lebih tinggi dibandingkan dngan alat ukur.

Pada awal pengukuran pukul 13:00, nilai sensor adalah 8,75 dan meningkat secara bertahap hingga mencapai puncaknya di 9,2 pada pukul 13:40, lalu mengalami penurunan bertahap hingga 8,65 di akhir pengukuran 14:30. Sementara itu, alat ukur menunjukkan tren yang hampir serupa namun dengan nilai yang lebih rendah dan fluktuasi yang lebih kecil.

Sensor menunjukkan pola yang konsisten dan searah dengan alat ukur, meskipun terdapat deviasi antara nilai sensor dan alat ukur, tren perubahan pH yang terbaca masih tergolong konsisten. Hal ini menunjukkan bahwa sensor masih dapat digunakan untuk memantau pH dengan diperlukan kalibrasi secara berkala untuk meningkatkan dan menjaga tingkat akurasi dan stabilitas.

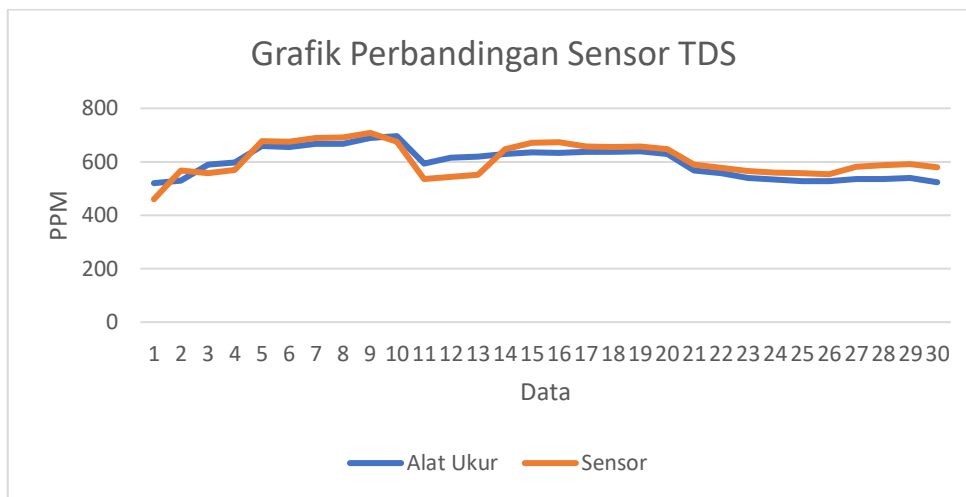
Tabel 4. 7 Data Persentase Error dan Akurasi Sensor TDS

No	Alat Ukur	Sensor	Error (%)	Akurasi (%)
1	520 ppm	460 ppm	11,54	88%
2	529 ppm	568 ppm	7,37	93%
3	589 ppm	558 ppm	5,26	95%
4	598 ppm	569 ppm	4,85	95%
5	659 ppm	678 ppm	2,88	97%
6	655 ppm	675 ppm	3,05	97%
7	668 ppm	690 ppm	3,29	97%
8	667 ppm	691 ppm	3,60	96%
9	689 ppm	708 ppm	2,76	97%
10	696 ppm	676 ppm	2,87	97%
11	594 ppm	536 ppm	9,76	90%
12	615 ppm	544 ppm	11,54	88%
13	620 ppm	552 ppm	10,97	89%
14	629 ppm	648 ppm	3,02	97%
15	635 ppm	672 ppm	5,83	94%
16	633 ppm	673 ppm	6,32	94%
17	638 ppm	657 ppm	2,98	97%
18	637 ppm	655 ppm	2,83	97%
19	640 ppm	658 ppm	2,81	97%
20	630 ppm	648 ppm	2,86	97%
21	567 ppm	589 ppm	3,88	96%
22	558 ppm	578 ppm	3,58	96%
23	540 ppm	566 ppm	4,81	95%
24	534 ppm	560 ppm	4,87	95%
25	528 ppm	557 ppm	5,49	95%
26	528 ppm	553 ppm	4,73	95%
27	535 ppm	581 ppm	8,60	91%
28	535 ppm	588 ppm	9,91	90%
29	540 ppm	592 ppm	9,63	90%
30	523 ppm	580 ppm	10,90	89%
Rata-Rata			5,76	94%

Pengukuran TDS dilakukan sebanyak 30 dengan membandingkan hasil pembacaan sensor dengan alat ukur standar sebagai referensi. Rata-rata nilai nutrisi yang terbaca alat ukur standar sekitar 595 ppm dan rata-rata nutrisi yang terbaca oleh sensor bervariasi cukup tinggi 622 ppm menunjukkan nilai sensor cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan alat ukur standar, yang menunjukkan adanya *overestimation* atau pembacaan berlebih oleh sensor.

Persentase rata-rata *error* 5,76% dan rata-rata *akurasi* 94% meskipun terdapat *fluktuasi* antar setiap titik data, sensor menunjukkan performa cukup baik dengan sebagian besar *error* berada di bawah 10%, dan akurasi berada dalam rentang 88-97%. *Akurasi* tertinggi terjadi pada data ke-5, 6, 7, 9, 10, 14, 17-20, *akurasi* tertinggi sebesar 97%, sedangkan akurasi terendah adalah 88% pada data ke-1 dan ke-12.

Sensor memiliki kecenderungan membaca nilai nutrisi sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan alat ukur standar. *Error* yang relatif tinggi muncul pada nilai nutrisi yang lebih rendah, seperti pada data ke-1 520 dan data ke-30 523, secara umum tren pembacaan sensor mengikuti pola fluktuasi alat ukur, menunjukkan kemampuan sensor dalam menangkap perubahan nilai nutrisi dengan akurat. Rata-rata akurasi sebesar 94% menunjukkan bahwa sensor cukup andal digunakan dalam sistem dalam sistem pemantauan. Dengan tingkat *error* yang cukup rendah dengan rata-rata *error* 5,76%, sensor mampu memberikan data *real-time* yang representatif untuk menjaga kestabilan larutan nutrisi tanaman. Namun, tetap perlu kalibrasi berkala untuk meminimalkan deviasi nilai dan menjaga akurasi jangka Panjang.



Gambar 4. 7 Grafik Perbandingan Sensor TDS

Grafik diatas menunjukkan hubungan antara hasil pengukuran pH oleh sensor dengan nilai acuan dari alat ukur pembandingan. Berdasarkan grafik menunjukan nilai TDS yang terukur oleh sensor mengikuti tren yang sama dengan alat ukur standar. Keduanya menunjukan *fluktuasi* pada titik tertentu, terdapat kenaikan nilai pada titik ke-1-10 dan terdapat penurunan tajam pada titik ke-11, stabil pada titik ke-12 hingga 20, pada titik ke-21 hingga ke-25 terdapat penurunan perlahan dan pada titik ke-26 hingga akhir terdapat kenaikan.

Nilai sensor TDS cenderung sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan alat ukur, khususnya di titik tengah dan akhir grafik. Namun, di beberapa titik yaitu pada titik ke-1 dan 11, sensor justru membaca nilai lebih rendah, kemungkinan akibat faktor lingkungan atau delay pembacaan data *real-time*. Grafik menunjukan bahwa terdapat variasi nilai, sensor menunjukkan pola yang sangat mirip dengan alat ukur, menandakan sensor cukup cukup sensitif terhadap perubahan konsentrasi larutan nutrisi. kesamaan tren ini membuktikan bahwa sensor TDS mampu menangkap dinamika perubahan larutan secara akurat, meskipun ada sedikit deviasi. Grafik memperlihatkan bahwa sensor mampu mempresentasikan *fluktuasi* larutan nutrisi dengan akurat. Namun, tetap perlu kalibrasi berkala untuk meminimalkan deviasi nilai dan menjaga akurasi jangka Panjang.

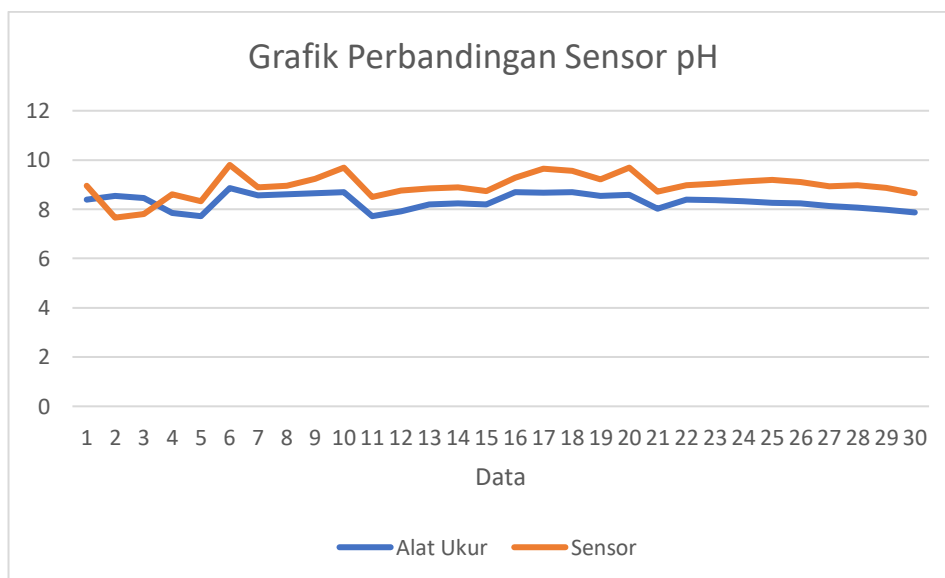
Tabel 4. 8 Data Persentase *Error* dan Akurasi Sensor pH

No	pH			
	Alat Ukur	Sensor	Error (%)	Akurasi (%)
1	8,4	8,95	6,55	93%
2	8,55	7,66	10,41	90%
3	8,45	7,8	7,69	92%
4	7,84	8,61	9,82	90%
5	7,72	8,32	7,77	92%
6	8,86	9,8	10,61	89%
7	8,57	8,89	3,73	96%
8	8,6	8,95	4,07	96%
9	8,66	9,24	6,70	93%
10	8,69	9,7	11,62	88%
11	7,72	8,51	10,23	90%
12	7,92	8,77	10,73	89%
13	8,2	8,85	7,93	92%
14	8,24	8,89	7,89	92%
15	8,2	8,74	6,59	93%
16	8,7	9,28	6,67	93%
17	8,67	9,65	11,30	89%
18	8,7	9,56	9,89	90%
19	8,54	9,21	7,85	92%
20	8,59	9,69	12,81	87%
21	8,03	8,72	8,59	91%
22	8,4	8,98	6,90	93%
23	8,36	9,04	8,13	92%
24	8,32	9,12	9,62	90%
25	8,26	9,2	11,38	89%
26	8,25	9,1	10,30	90%
27	8,13	8,94	9,96	90%
28	8,07	8,97	11,15	89%
29	7,99	8,87	11,01	89%
30	7,87	8,66	10,04	90%
Rata-Rata			8,93	91%

Pengukuran pH dilakukan sebanyak 30 dengan membandingkan hasil pembacaan sensor dengan alat ukur standar sebagai referensi. Rata-rata nilai pH yang terbaca alat ukur standar sekitar 8,33 dan rata-rata pH yang terbaca oleh sensor bervariasi cukup tinggi 8,93 menunjukkan nilai sensor cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan alat ukur standar, yang menunjukkan adanya *overestimation* atau pembacaan berlebih oleh sensor.

Persentase rata-rata *error* 8,93% dan rata-rata *akurasi* 91% meskipun terdapat fluktuasi antar setiap titik data, sebagian besar *error* berada di kisaran 6-11%, dan *akurasi* berada dalam rentang 87-96%. *Akurasi* tertinggi terjadi pada data ke-7 dan ke-8 sebesar 96%, sedangkan *akurasi* terendah adalah 87% pada data ke-20.

Sensor menunjukkan kecenderungan konsisten membaca nilai pH lebih tinggi dibandingkan alat ukur, *error* yang tinggi umumnya terjadi pada data dengan nilai pH yang relatif rendah, seperti pada data ke-2,6,10, dan 20. Meski adanya selisih, arah tren antara alat ukur dan sensor cenderung searah dan stabil, menunjukkan bahwa sensor mampu menangkap perubahan pH yang terjadi secara *real-time*. Rata-rata *akurasi* sebesar 91% menunjukkan bahwa sensor cukup andal digunakan dalam sistem dalam sistem pemantauan. Namun, perlu dilakukan kalibrasi secara berkala untuk mengurangi *error* dan memastikan *akurasi* tetap dalam batas toleransi.



Gambar 4. 8 Grafik Perbandingan Sensor pH

Grafik diatas menunjukkan hubungan antara hasil pengukuran pH oleh sensor dengan nilai acuan dari alat ukur pembanding. Berdasarkan grafik nilai pH dari alat ukur relatif stabil, berkisar 7,8 hingga 8,7 sepanjang pengamatan, sebaliknya nilai dari sensor pH menunjukkan *fluktuasi* yang sedikit lebih besar, terutama pada awal pengukuran pada titik ke-1 hingga 10, yang mencapai puncak nilai mendekati pH 10 pada titik ke-6 dan ke-9.

Sensor cenderung membaca nilai pH lebih tinggi dibandingkan dengan alat ukur standar di sebagian titik pengukuran. Perbedaan paling mencolok terjadi pada titik ke-6 dan 9, dimana sensor mencatat nilai pH di atas 9,5 sementara alat ukur tetap pada kisaran 8,5. Meski demikian, pola grafik kedua metode tetap mengikuti tren yang serupa, yang menunjukkan bahwa sensor mampu menangkap dinamika perubahan pH meskipun dengan deviasi tertentu.

Berdasarkan data, nilai rata-rata akurasi sensor terhadap alat ukur adalah 91% dengan tingkat *error* rata-rata 8,93%, yang masih berada dalam rentang toleransi untuk sistem monitoring otomatis. Hal ini menunjukkan bahwa sensor pH sudah cukup andal untuk mendeteksi perubahan lingkungan dalam sistem aeroponik, meskipun perlu dilakukan di kalibrasi rutin agar hasil lebih presisi.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

penelitian ini menunjukkan tingkat akurasi sensor dalam sistem smart aeroponik berbasis IoT memiliki pengaruh *signifikan* terhadap efektivitas monitoring parameter lingkungan, khususnya pada pH dan nutrisi. pengamatan dan analisis menunjukkan beberapa temuan penting berikut:

1. Akurasi sensor terhadap alat ukur

Sensor TDS menunjukkan hasil akurasi yang cukup tinggi yaitu 94% dan *error* sebesar 5,76% dari 30 data pengamatan. Sensor cenderung memberikan pembacaan yang lebih tinggi dibandingkan alat ukur, namun tetap mengikuti tren perubahan konsentrasi nutrisi secara konsisten. Hal ini menunjukkan bahwa sensor TDS cukup akurat dan respon terhadap dinamika larutan nutrisi di dalam sistem aeroponik,

2. Akurasi sensor pH menunjukkan rata-rata akurasi sebesar 91% dan rata-rata *error* 8,93%. Sensor pH juga memperlihatkan kecenderungan membaca nilai pH sedikit lebih tinggi dari alat ukur, terutama pada kondisi pH rendah. Meskipun demikian, grafik pertumbuhan pH antara sensor dan alat ukur menunjukkan tren yang serupa, menandakan sensor mampu menangkap perubahan nilai pH secara *real-time*.

3. Kelayakan Implementasi dalam Sistem Aeroponik

Dengan akurasi yang cukup tinggi serta kestabilan performa selama pengamatan, sensor pH dan TDS dinilai layak digunakan dalam sistem smart aeroponik berbasis IoT, terutama pada sistem high-pressure aeroponik. penggunaan sensor ini dapat mengurangi ketergantungan terhadap pemantauan manual dan memungkinkan tindakan korektif lebih cepat.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil pengamatan penelitian mengenai akurasi sensor dalam sistem *smart aeroponik* berbasis IoT, terdapat beberapa saran yang dapat dijadikan dari pengembangan sistem ke depan:

1. Optimasi pemilihan dan kalibrasi sensor

Sensor pH menunjukkan ketidakakuratan yang *signifikan* sehingga disarankan untuk melakukan kalibrasi secara rutin atau mengganti dengan sensor pH yang berkualitas lebih tinggi. Pemilihan sensor dengan toleransi *error* yang rendah dan kemampuan kerja stabil dalam larutan nutrisi aeroponik menjadi kunci keberhasilan sistem monitoring otomatis.

2. Perawatan berkala

Perlu adanya perawatan berkala untuk mencegah kerusakan atau penurunan performa sensor akibat penggunaan jangka Panjang.

3. Perluasan Lingkup Pengujian dan Durasi Penelitian

Untuk memperoleh data yang lebih *representatif*, pengujian sebaiknya dilakukan dalam waktu yang lebih Panjang dan melibatkan berbagai kondisi lingkungan (seperti suhu, kelembapan udara intensitas cahaya). Ini akan membantu memvalidasi performa sensor dalam konteks nyata dan beragam.

DAFTAR PUSTAKA

- Ade Kusuma., et al. (2025). “Pemantauan Cerdas Berbasis IoT pada Kualitas air Hidroponik untuk Optimalisasi Pertanian Presisi”. Building of Informatics, Technology and Science.
- Alfian. R., Steafanie. A., & Saragih. Y. (2024). “Analisa Kinerja Sensor untuk Pengukuran Kualitas Air pada Hidroponik Sistem Nutrient Film Technique”. *Journal of Informatics and Electrical Engineering Universitas Aisyah Pringsewu*.
- Apriyanto, "ANALISA KUALITAS PENGUKURAN HUB BOLT M20 x 77mm METODE GAUGE REPEATABILITY DAN REPRODUCIBILITY," 2017.
- Arafat., Ratna. S., & Wagino. (2023). “Monitoring Kualitas Air dan Kadar Nutrisi Tanaman Hidroponik Berbasis Internet Of Things”. *Journal Teknik Informatika dan Teknologi Informasi*.
- Ayuningtyas, P. M., & Hadi. Z. (2023). “Perancangan Sistem Monitoring Kualitas Air dan Nutrisi Tanaman Hidroponik Berbasis Android menggunakan NodeMCU ESP32 pada Tanaman Selada”. *Journal of Research and Publication Innovation*.

- Benny. K., Cristina. N. M., Hasbi. A. N., Arvan. F., Nayandra. D., Salsa. Cheisa. (2023). “Sistem Monitoring Total Dissolved Solid TDS pada Lower Basin Cooling Tower menggunakan Sensor Berbasis Internet di Bandar Udara Internasional Yogyakarta-Kulon Progo”. *Journal Teknik Mekanikal Bandar Udara*.
- Denanta, P. D. B., et al. (2020). Sistem Kontrol dan Monitoring Tanaman Hidroponik Aeroponik Berbasis Internet of Things. *Jurnal Ilmiah Merpati*.
- Efendi, Y. (2018). *Internet of Things (IoT) Sistem Pengendalian Lampu Menggunakan Raspberry Pi Berbasis Mobile*. *Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer*.
- Endekan, Arjun (2022) “Rancang Bangun Sistem Monitoring Dan Kontrol Hidroponik Berbasis *Internet Of Things* (Iot) Pada Green House Kokoa Farm Di Kabupaten Takalar”. Diploma thesis, Politeknik negeri Ujung Pandang.
- Gonyer & Jones (2016). *Droplet Size Analysis of High Pressure Aeroponic System*.
- Hartono. E., Yerry, F. S., Arof, R. (2023). “Monitoring Kualitas Air pada Budidaya Hidroponik Berbasis Arduino”.
- Hidayat, T., & Supriyadi, S. (2019). "Analisis Kualitas Air dan Nutrisi pada Sistem *Hidroponik Nutrient Film Technique* (NFT) untuk Pertumbuhan Tanaman Sayuran." *Jurnal Sains dan Teknologi Pertanian*, 15(1), 67-75
- Homepage jurnal: <http://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jwl>
- Hugo, A. M., Padilla-Medina, J. A., Mart, C., Martinez-Nolasco, J. J., Barranco-Guti, A. I., Contreras-Medina, L. M., & Leon-Rodriguez, M. (2022). *Iot-Based Monitoring System Applied To Aeroponics Greenhouse*.
- Irsyad, A. R., & Kopriyanto, K. (2024). “Sistem Monitoring Kualitas Air Hidroponik di AABS Purwokerto Berbasis Website menggunakan Metode Prototipe”. *Jurnal Teknik Informatika*.
- Izzinnahdi., et al. (2021). “Sistem Pemantauan Kondisi Air Hidroponik Berbasis Internet of Things Menggunakan Node MCU ESP8266”. *Journal OF Telecommunication, Electronics, and Control Engineering (JTECE) JTECE*.
- Karna, N., Naufal, R., Raniprima, S., Putra, I. K. A. P., Rahyuni, D. A. P., & Parti, I. K. (2023). “Sistem Monitoring dan Kontrol Aeroponik Menuju Smart Greenbox untuk Tanaman Selada berbasis IoT”. *Building of Informatics, Technology and Science (BITS)*, 4(4), 1845–1853.
- Kurniawan, G., M. Jasa, A., & Sugiono. (2021). “Smart Farming Selada (Romine) dengan Sistem Aeroponik Berbasis IoT”. *Journal Ilmiah Teknik Informatika, Elektronika dan Kontrol*.
- M. Mahendiran. (2025). “IOT Based Water Quality Monitoring sistem Usinf ESP32”. *International Journal For Research in Applied Science and Engineering Technology*.

- M. Marisa, C. Carudin, dan R. Ramdani, "Otomatisasi Sistem Pengendalian dan Pemantauan Kadar Nutrisi Air menggunakan Teknologi NodeMCU ESP8266 pada Tanaman Hidroponik", *j. teknologi terpadu*,
- Mantik, H. (2022). *Revolusi Industri 4.0: Internet of Things*, Implementasi pada Berbagai Sektor Berbasis Teknologi Informasi (*Bagian 1*). JSI (Jurnal Sistem Informasi) Universitas Suryadarma, 9(2), 41–48.
- Nugroho, Bunafit. (2019). *Aplikasi Pemrograman Web Dinamis Dengan Php Dan Mysql*. Yogyakarta: Penerbit Gava Media.
- Refriansyah, A. 180211080 (2024) "*Perancangan Prototipe Sistem Monitoring Dan Kontrol Hidroponik Pada Tanaman Selada Berbasis Internet Of Things*". Otherthesis, UIN Ar-Raniry Banda Aceh.
- Reyes, R Montoya, C Ledesma, and R Ramirez. 2012. "Development of an Aeroponic System for Vegetable Production." In *Development of an Aeroponic System for Vegetable Production*, by R Montoya, C Ledesma, R Ramirez J Reyes, 1-2
- Roidah. I. S. (2014). "Pemanfaatan Lahan Dengan menggunakan Sistem Hidroponik". *Journal Universitas Tulungagung BONOROWO*.
- Safrimawan, A. (2019). Sistem Kontrol Pemberian Nutrisi pada Budidaya Tanaman Aeroponik Berbasis *Fuzzy Logic*. *Journal of Applied Electrical Engineering*,
- Saputra. S. (2024). "Sistem Kontrol dan Monitoring Tanaman Aeroponik Berbasis IoT menggunakan Node Red". *Tugas Akhir Teknik informatika Universitas Hasanuddin*.
- Siregar. S. L. H. dan M. Rivai. (2018) "Monitoring dan Kontrol Sistem Penyemprotan Air Untuk Budidaya Aeroponik Menggunakan NodeMCU ESP8266," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 7, no. 2, 2019, doi: 10.12962/j23373539.v7i2.31181.
- Syachromdhon. M. F, M. Imam. S. & Fajar. W. R. (2022). "Sosialisasi Aplikasi Katalog Produk Berbasis Website pada Pt. Ide Pratama Mandiri" *Journal Generasi Teknologi Melayani Masyarakat*.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2010). *Plant physiology* (5th ed.). Sinauer Associates.
- Tunio, M. H., Gao, J. M., Qureshi, W. A., Sheikh, S. A., Chen, J. D., Chandio, F. A., et al. (2022). *Effects of droplet size and spray interval on root-to-shoot ratio, photosynthesis efficiency, and nutritional quality of aeroponically grown butterhead lettuce*. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 15(1), 79–88.
- Tyson, T. V (2007). *Reconciling pH for Ammonia Biofiltration in a Cucumber/Tilpana Aquaponics System Using a Perlite Medium*. "*Journal of Plant Nutrition*"
- Wicaksono. A., Widasari. E. R. & Utaminingrum. F. (2017). "Implementasi Sistem Kontrol dan Monitoring pH dan Tanaman Kentang Aeroponik secara Wireless". *Journal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*.

LAMPIRAN



Gambar L. 1 Pengukuran Menggunakan Alat Ukur



Gambar L. 2 Pengambilan data Sensor



Gambar L. 4 Pengkalibrasian Alat Ukur



Gambar L. 3 Pengukuran dan pencatatan