

**SISTEM HIDROPONIK BERBASIS *SUPERVISORY CONTROL AND
DATA ACQUISITION* (SCADA) UNTUK *GREENHOUSE***

SKRIPSI

Oleh:
RAFLY AKBAR ELFAHMI
NIM. 220604110046



**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2026**

HALAMAN PENGAJUAN

**SISTEM HIDROPONIK BERBASIS *SUPERVISORY CONTROL AND
DATA ACQUISITION* (SCADA) UNTUK *GREENHOUSE***

SKRIPSI

**Diajukan kepada:
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam
Memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**Oleh:
RAFLY AKBAR ELFAHMI
NIM. 220604110046**

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2026**

HALAMAN PERSETUJUAN

SISTEM HIDROPONIK BERBASIS *SUPERVISORY CONTROL AND DATA ACQUISITION* (SCADA) UNTUK *GREENHOUSE*

SKRIPSI

Oleh:

RAFLY AKBAR ELFAHMI

NIM. 220604110046

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji
Pada tanggal, 22 Juni 2026

Pembimbing I



Dr. Irfan Tazi, M.Si
NIP. 19740730 200312 1 002

Pembimbing II



Mubasyiroh, S.S., M.Pd.I
NIP. 19790502 202321 2 024

Mengetahui,
Ketua Program Studi



Farid Samsu Nananto, S.Si., M.T
NIP. 19740513 200312 1 001

HALAMAN PENGESAHAN

SISTEM HIDROPONIK BERBASIS *SUPERVISORY CONTROL AND DATA ACQUISITION* (SCADA) UNTUK *GREENHOUSE*

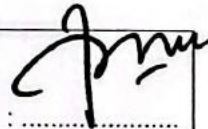
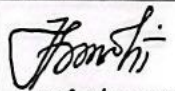
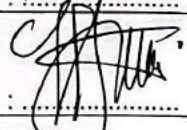
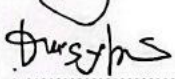
SKRIPSI

Oleh:

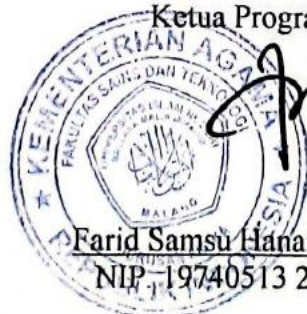
RAFLY AKBAR ELFAHMI

NIM. 220604110046

Telah Dipertahankan Di Depan Dewan Penguji
Dan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Pada Tanggal, 26 Juni 2026

Penguji Utama :	<u>Farid Samsu Hananto, S.Si., M.T</u> NIP. 19740513 200312 1 001	
Ketua Penguji :	<u>Ahmad Luthfin, S.Si, M.Si</u> NIP. 19860504 201903 1 009	
Sekretaris Penguji :	<u>Dr. Imam Tazi, M.Si</u> NIP. 19740730 200312 1 002	
Anggota Penguji :	<u>Mubasyiroh, S.S., M.Pd.I</u> NIP. 19790502 202321 2 024	

Mengesahkan,
Ketua Program Studi



Farid Samsu Hananto, S.Si., M.T
NIP. 19740513 200312 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : RAFLY AKBAR ELFAHMI

NIM : 220604110046

Program Studi : FISIKA

Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI

Judul Penelitian : Sistem Hidroponik Berbasis *Supervisory Control And Data Acquisition* (SCADA) Untuk *Greenhouse*

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang telah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka. Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur jiplakan maka saya bersedia untuk menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Malang, 26 Juni 2026
Yang Membuat Pernyataan,



Rafly Akbar Elfahmi
NIM. 220604110046

MOTTO

“Disiplin tidak mengekang, sebaliknya justru membebaskan”

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah Rabbil 'aalamiin.

Di atas segalanya, sujud syukur saya haturkan kepada Allah SWT. Bukan hanya karena skripsi ini telah usai, melainkan karena Engkau tetap memeluk saya di malam-malam panjang ketika saya merasa bodoh, lelah, dan ingin berhenti. Terima kasih telah menggenggam hati ini agar tidak menyerah pada keputusan. Shalawat serta salam semoga tercurah kepada Rasulullah SAW, teladan kesabaran yang sesungguhnya.

Karya sederhana ini adalah saksi perjuangan yang saya persembahkan untuk:

1. Papa dan Mama, Pintu Surga Saya. Yang tak pernah putus mengetuk pintu langit di sepertiga malam untuk nama saya. Maaf jika anakmu ini sering terlihat sibuk dan lelah. Ketahuilah, setiap lembar yang saya tulis adalah upaya saya untuk membalas setetes keringat dan air mata kalian, meski saya tahu itu tak akan pernah cukup.
2. Diri Saya Sendiri di Masa Lalu, Terima kasih sudah cukup keras kepala untuk bertahan. Terima kasih sudah memilih untuk menyeka air mata, mengambil air wudhu, dan kembali mengetik meski hanya satu paragraf. Kita berhasil.
3. Para Sahabat dan Guru Kehidupan, Yang Allah kirimkan sebagai "jeda" yang menyenangkan di tengah rumitnya bab demi bab. Kalian adalah bukti bahwa rezeki Tuhan juga berupa orang-orang baik.

Semoga lelah ini menjadi lillah.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala atas limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan dan menyusun skripsi yang berjudul “Sistem Hidroponik Berbasis *Supervisory Control And Data Acquisition* (SCADA) Untuk *Greenhouse*”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memenuhi tugas akhir pada Program Studi Fisika, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Shalawat dan salam senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad Shallallahu ‘alaihi wa sallam, sebagai suri teladan bagi seluruh umat islam.

Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar- besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan, bimbingan, arahan, serta kritik dan saran yang membangun selama proses penyusunan skripsi ini, di antaranya kepada:

1. Allah Subhanahu wa Ta'ala yang senantiasa memberikan kekuatan, kesabaran, dan kemudahan dalam setiap langkah yang dijalani.
2. Ibu Prof. Dr. Hj. Ilfi Nur Diana, M.Si., selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Bapak Dr. H. Agus Mulyono, S.Pd., M.Kes., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Bapak Farid Samsu Hananto, S.Si., M.T., selaku Ketua Program Studi Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
5. Bapak Dr. Imam Tazi, M.Si., selaku dosen pembimbing yang dengan penuh kesabaran, dedikasi, dan ketekunan telah membimbing penulis dalam proses penyusunan skripsi ini.

6. Seluruh dosen, laboran, dan staf administrasi Program Studi Fisika yang telah memberikan ilmu, pengalaman, serta bantuan yang sangat berarti.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan, baik dari segi isi maupun penyajiannya. Hal tersebut tidak terlepas dari keterbatasan ilmu dan pengalaman yang dimiliki penulis. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan untuk perbaikan di masa mendatang. Semoga karya ini dapat memberikan manfaat, baik bagi penulis sendiri dalam memenuhi tugas akademik, maupun sebagai tambahan wawasan dan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan ke depannya.

Malang, 26 Juni 2026
Penulis,

Rafly Akbar Elfahmi
NIM. 220604110046

DAFTAR ISI

COVER.....	i
HALAMAN PENGAJUAN.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN.....	v
MOTTO.....	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
ABSTRAK.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
مستخلص البحث.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	6
1.3 Tujuan.....	6
1.4 Manfaat Penelitian.....	6
1.5 Batasan Penelitian.....	7
BAB II KAJIAN PUSTAKA.....	9
2.1 Sistem Hidroponik.....	9
2.2 <i>Supervisory Control and Data acquisition</i> (SCADA) dalam Hidroponik.....	9
2.3 Sensor yang Digunakan dalam Sistem Hidroponik SCADA.....	10
2.4 Kontrol Otomatis pada Sistem SCADA Hidroponik.....	13
2.5 Studi Implementasi Sistem SCADA IoT untuk <i>Greenhouse</i>	14
BAB III METODE PENELITIAN.....	16
3.1 Jenis Penelitian.....	16
3.2 Sumber Data Penelitian.....	16
3.3 Rancangan Penelitian.....	16
3.4 Variabel Penelitian.....	17
3.5 Diagram Penelitian.....	18
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	26
4.1 Hasil Perancangan dan Implementasi Perangkat Keras (<i>Hardware</i>).....	26
4.2 Uji Alat dan Komponen.....	31
4.3 Pembahasan.....	46

BAB V PENUTUP.....	65
5.1 Kesimpulan.....	65
5.2 Saran	66
DAFTAR PUSTAKA.....	67
LAMPIRAN.....	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Sensor TDS	11
Gambar 3. 1 Diagram alir prosedur penelitian	18
Gambar 3. 2 Diagram alir penelitian hardware	19
Gambar 3. 3 Flowchart	22
Gambar 4. 1 Rangkaian Alat.....	27
Gambar 4. 2 totipe Alat.....	28
Gambar 4. 3 Tampilan Tampilan Dashboard di laptop.....	30
Gambar 4. 4 Tampilan Dashboard Grafik pada laptop.	30
Gambar 4. 5 Tampilan Dashboard pada handphone	31
Gambar 4. 6 Grafik rata rata dan standart deviasi pada sensor pH	37
Gambar 4. 7 Grafik Rata – rata dan standar deviasi sensor TDS.....	38
Gambar 4. 8 Grafik Rata – rata dan standar deviasi sensor DHT11	38
Gambar 4. 9 Grafik Rata – rata dan standar deviasi sensor DS18B20	39
Gambar 4. 10 Tampilan Dashboard Web Server	44
Gambar 4. 11 Potongan Kode Program HTML Dashboard.....	45
Gambar 4. 12 Tampilan Menu Pengambilan Data.....	46
Gambar 4. 13 Grafik Persentase Error Tiap Uji Sensor pH.....	54
Gambar 4. 14 Grafik Persentase Error Tiap Uji Sensor TDS	55
Gambar 4. 15 Grafik Persentase Error Tiap Uji Sensor DHT11.....	56
Gambar 4. 16 Persentase Error Tiap Uji Sensor DS18B20	57

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Validasi sensor	24
Tabel 3. 2 Tabel pengambilan data sementara	25
Tabel 4. 1 Perbandingan Larutan pH dan Sensor pH.....	33
Tabel 4. 2 Perbandingan Larutan pH 6.86 dan Sensor pH.....	33
Tabel 4. 3 Perbandingan Larutan pH 9.18 dan Sensor pH.....	33
Tabel 4. 4 Perbandingan Larutan TDS 500 dan Sensor TDS	34
Tabel 4. 5 Perbandingan Larutan TDS 1000 dan Sensor TDS	34
Tabel 4. 6 Perbandingan Larutan TDS 1382 dan Sensor TSD	34
Tabel 4. 7 Perbandingan Termometer Dalam Lab dan Sensor DHT11	35
Tabel 4. 8 Perbandingan Termometer Dalam Gedung Fakultas	35
Tabel 4. 9 Perbandingan Termometer Luar Ruangan Dan Sensor DHT11	36
Tabel 4. 10 Perbandingan Termometer Air PAM dan Sensor DS18B20	36
Tabel 4. 11 Perbandingan Termometer Air Hangat Dan Sensor DS18B20.....	36
Tabel 4. 12 Perbandingan Termometer Air ES dan Sensor DS18B20	37
Tabel 4. 13 Hasil Data dan <i>Error</i>	47

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Program	71
Lampiran 2 Program HTML	81
Lampiran 3 Foto Pengujian dan Serial Monitor.....	89

ABSTRAK

Elfahmi, Rafly Akbar. 2026 **Sistem Hidroponik Berbasis *Supervisory Control And Data Aquisition (SCADA)* Untuk *Greenhouse***. Skripsi. Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Dr. Imam Tazi, M.Si., (II) Mubasyiroh, S.S., M.Pd.I

Kata Kunci: Hidroponik, SCADA, ESP32, *Greenhouse*, Pertanian Presisi.

Tantangan utama dalam budidaya pertanian hidroponik di dalam *greenhouse* adalah diperlukannya pengawasan dan pengendalian parameter nutrisi serta mikroklimat yang sangat presisi. Pengelolaan secara manual sering kali memicu keterlambatan koreksi parameter dan potensi *human error* yang dapat menurunkan kualitas hasil panen. Penelitian ini bertujuan untuk merancang, mengimplementasikan, dan menguji sistem otomatisasi hidroponik berbasis *Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)* menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali untuk pemantauan dan pengendalian kondisi *greenhouse* secara *real-time*. Sistem ini mengintegrasikan sensor pH untuk mengukur keasaman larutan, sensor TDS untuk kepekatan nutrisi, sensor DS18B20 untuk suhu cairan nutrisi, dan sensor DHT11 untuk memantau suhu serta kelembapan udara ruangan. Modul ADS1115 digunakan melalui komunikasi I2C untuk mengoptimalkan akurasi pembacaan data analog pada sensor pH dan TDS. Aktuator berupa pompa air nutrisi dan *solenoid valve* dikendalikan otomatis berdasarkan batas parameter yang ditentukan. Seluruh data akuisisi dikirimkan via jaringan WiFi lokal untuk ditampilkan secara visual pada *dashboard web server* berbasis HTML serta disimpan dalam bentuk data historis. Penelitian ini juga mengintegrasikan perspektif Islam melalui implementasi prinsip keterukuran (Q.S. Al-Hijr: 19), pemanfaatan ilmu pengetahuan untuk kemaslahatan (Q.S. Az-Zumar: 9), konsep Maqashid Syariah (*hifz al-'aql*, *hifz al-mal*, *hifz an-nasl*, dan *hifz al-bi'ah*), serta pencegahan *tabdzir* (pemborosan) dalam efisiensi sumber daya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem SCADA berhasil menjalankan fungsi monitoring dan kontrol otomatis dengan sangat baik. Evaluasi akurasi seluruh komponen sensor membuktikan tingkat presisi yang tinggi dengan akumulasi nilai galat di bawah batas toleransi ilmiah (<5%), di mana persentase *error* pada sensor pH hanya berkisar antara 2,78% hingga 4,64%. Sistem yang dikembangkan memberikan kontribusi taktis sebagai solusi teknologi pertanian presisi yang efektif, ekonomis, dan selaras dengan nilai-nilai pengelolaan lingkungan dalam Islam.

ABSTRACT

Elfahmi, Rafly Akbar. 2026. *SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition)-Based Hydroponic System for Greenhouse*. Thesis. Physics Department, Faculty of Science and Technology, State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim Malang. Advisor: (I) Dr. Imam Tazi, M.Si., (II) Mubasyiroh, S.S., M.Pd.I

Keywords: Hydroponics, SCADA, ESP32, Greenhouse, Precision Agriculture.

The main challenge in hydroponic cultivation inside a greenhouse is the requirement for high-precision monitoring and control of nutrient and microclimate parameters. Manual management frequently leads to delayed parameter corrections and potential human errors, which can degrade crop yields. This research aims to design, implement, and evaluate a hydroponic automation system based on Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) using an ESP32 microcontroller as the central control unit for real-time greenhouse monitoring and regulation. The system integrates a pH sensor to monitor solution acidity, a TDS sensor for nutrient concentration, a DS18B20 sensor for nutrient fluid temperature, and a DHT11 sensor to track ambient air temperature and humidity. An ADS1115 module is employed via I2C communication to optimize the accuracy of analog-to-digital data conversion for the pH and TDS sensors. Actuators, consisting of a nutrient water pump and a solenoid valve, are automatically controlled according to predefined parameter thresholds. All acquired data are transmitted via a local WiFi network to be visually displayed on an HTML-based web server dashboard and logged as historical data. Furthermore, this study integrates an Islamic perspective by implementing the principle of measurable proportion (Q.S. Al-Hijr: 19), utilizing knowledge for public welfare (Q.S. Az-Zumar: 9), adopting Maqashid Shariah concepts (*hifz al-'aql*, *hifz al-mal*, *hifz an-nasl*, and *hifz al-bi'ah*), and preventing *tabdzir* (wastefulness) through resource efficiency. The experimental results demonstrate that the SCADA system executes its monitoring and automated control functions flawlessly. Accuracy evaluation across all sensor components confirms high precision, with cumulative error rates safely below the scientific tolerance threshold ($<5\%$), notably with the pH sensor error ranging tightly between 2.78% and 4.64%. The developed system provides a tactical contribution as an effective, economical smart precision agriculture solution that perfectly aligns with Islamic principles of environmental stewardship.

مستخلص البحث

الفهمي، رفلي أكبر. ٢٠٢٦. نظام الزراعة المائية القائم على نظام التحكم الإشرافي وتحصيل البيانات (SCADA) للبيوت الزجاجية. بحث جامعي. قسم الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية بمالانج.

المشرف: (١) الدكتور إمام تازي، الماجستير، (٢) مبدّنة، الماجستير .

الكلمات المفتاحية: الزراعة المائية، سكاذا (SCADA)، ESP32، البيوت الزجاجية، الزراعة الدقيقة.

التحدي الرئيسي في الزراعة المائية داخل البيوت الزجاجية هو الحاجة إلى مراقبة وتحكم دقيقين للغاية في معايير المحلول المغذي والمناخ المحلي. غالبًا ما تؤدي الإدارة اليدوية إلى تأخير تصحيح المعايير واحتمال حدوث أخطاء بشرية تؤثر سلبًا على جودة المحصول. تهدف هذه الدراسة إلى تصميم وتنفيذ واختبار نظام أتمتة الزراعة المائية القائم على نظام التحكم الإشرافي وتحصيل البيانات (SCADA) باستخدام المتحكم الدقيق ESP32 كمركز تحكم للمراقبة والتوجيه الفوري لظروف البيوت الزجاجية. يدمج هذا النظام مستشعر الرقم الهيدروجيني (pH) لقياس حموضة المحلول، ومستشعر إجمالي المواد الصلبة الذائبة (TDS) لقياس تركيز المغذيات، ومستشعر DS18B20 لقياس درجة حرارة السائل، ومستشعر DHT11 لمراقبة درجة حرارة ورطوبة الهواء المحيط. تم استخدام وحدة ADS1115 عبر اتصال I2C لتحسين دقة قراءة البيانات التناظرية لمستشعري pH و TDS. يتم التحكم في المشغلات، المتمثلة في مضخة مياه المغذيات وصمام السولينود، تلقائيًا بناءً على حدود المعايير المحددة. يتم إرسال جميع البيانات التي تم تحصيلها عبر شبكة WiFi محلية لعرضها مرئيًا على لوحة تحكم خادم الويب القائمة على HTML وحفظها في سجل البيانات التاريخية. دججت هذه الدراسة أيضًا المنظور الإسلامي من خلال تطبيق مبدأ التقدير والموزونية (سورة الحجر: ١٩)، والاستفادة من العلم للمصلحة العامة (سورة الزمر: ٩)، ومفهوم مقاصد الشريعة (حفظ العقل، وحفظ المال، وحفظ النسل، وحفظ البيئة)، ومنع التبذير (الإسراف) لتحقيق كفاءة الموارد. وأظهرت نتائج الاختبار أن نظام SCADA نجح في أداء وظائف المراقبة والتحكم التلقائي بكفاءة عالية. وأثبتت تقييم دقة جميع المستشعرات درجة عالية من الإحكام، حيث كانت نسبة الخطأ المتراكم أقل من حد التسامح العلمي (أقل من ٥٪)، وتراوحت نسبة الخطأ في مستشعر pH بين ٢,٧٨٪ و ٤,٦٤٪ فقط. يقدم النظام المطور مساهمة تكنولوجية كحل تقني فعال واقتصادي في مجال الزراعة الدقيقة يتوافق مع القيم الإسلامية في إدارة البيئة والموارد المستدامة.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertanian modern saat ini terus berkembang mengikuti tuntutan peningkatan produksi pangan, efisiensi penggunaan sumber daya, serta kebutuhan lingkungan yang semakin terkendali. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah sistem hidroponik, yaitu teknik budidaya tanaman tanpa tanah menggunakan larutan nutrisi yang terukur. Sistem ini mampu meningkatkan produktivitas, menghemat air hingga 90%, serta meminimalkan risiko penyakit tanah (Resh, 2022). Namun, hidroponik memiliki tantangan berupa kebutuhan pengawasan yang sangat presisi terhadap berbagai parameter fisis dan kimia. Ketidaktepatan pengelolaan variabel tersebut dapat menghambat pertumbuhan tanaman dan menurunkan kualitas hasil panen (Jones Jr., 2016). Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem hidroponik membutuhkan pengendalian yang lebih terstruktur, terukur, dan berkelanjutan.

Secara teknis, keberhasilan budidaya sangat bergantung pada pemeliharaan parameter larutan nutrisi dalam rentang yang spesifik. Sebagian besar tanaman hortikultura tumbuh optimal pada tingkat keasaman pH antara 5.5 hingga 6.5 untuk memastikan penyerapan unsur hara yang maksimal (I. & C., 2012). Konsentrasi nutrisi yang diukur melalui *Total Dissolved Solids* (TDS) juga harus dijaga sesuai fase pertumbuhan, umumnya berkisar antara 800 hingga 1200 ppm. Selain itu, suhu larutan nutrisi memegang peranan krusial karena suhu yang terlalu tinggi dapat menurunkan kadar oksigen terlarut secara signifikan yang memicu pembusukan akar (Sambo dkk., 2019). Oleh karena itu, kestabilan parameter pH, TDS, suhu

cairan, serta suhu dan kelembapan udara lingkungan menjadi kunci utama yang harus dipantau secara ketat.

Konsentrasi nutrisi yang diukur melalui TDS juga harus dijaga sesuai fase pertumbuhan, umumnya berkisar antara 800 hingga 1200 ppm (Putra & Yulianto, 2015). Selain itu, suhu larutan nutrisi memegang peranan krusial dan harus dipertahankan pada rentang 18°C hingga 25°C, karena suhu di atas 28°C dapat menurunkan kadar oksigen terlarut secara signifikan yang memicu pembusukan akar (Sambo dkk., 2019).

Greenhouse merupakan fasilitas yang digunakan untuk mengatur kondisi iklim mikro agar tanaman mendapatkan lingkungan yang optimal. Akan tetapi, banyak *greenhouse* yang masih memanfaatkan sistem manual dalam pengecekan nutrisi dan memantau suhu. Proses manual ini menimbulkan permasalahan seperti keterlambatan koreksi parameter, ketidakkonsistenan hasil pemantauan, serta potensi *human error* (Kristianto dkk., 2023). Data Badan Pusat Statistik juga menunjukkan bahwa fluktuasi cuaca dan pengelolaan lingkungan yang tidak stabil menjadi penyebab variabilitas produktivitas tanaman hortikultura di Indonesia (Aisyah & Harmadi, 2024). Oleh karena itu, otomatisasi menjadi kebutuhan penting dalam sistem pertanian *greenhouse*.

Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) merupakan sistem industri yang dirancang untuk melakukan pengawasan, pengendalian, dan akuisisi data secara *real-time*. SCADA memiliki kemampuan memproses data dari banyak sensor, menampilkan kondisi sistem secara langsung, serta mengendalikan aktuator dalam satu pusat kendali (Singh dkk., 2025). Penerapan SCADA pada sistem hidroponik memberikan peluang besar untuk meningkatkan akurasi pemantauan

parameter utama seperti pH, TDS, suhu larutan nutrisi, serta kondisi suhu dan kelembapan udara ruangan. Dengan kemampuan tersebut, SCADA mampu memastikan sistem budidaya berjalan stabil dan sesuai kebutuhan tanaman secara otomatis.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa sistem kontrol otomatis pada hidroponik dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air dan nutrisi, sekaligus menurunkan kesalahan dalam pemberian larutan hingga lebih dari 40% (Arif Supriyanto & Fathurrahmani, 2019). Akan tetapi, sebagian besar sistem yang digunakan masih berupa kontrol sederhana berbasis mikrokontroler tanpa integrasi pengawasan terpusat. Sistem tersebut belum mampu menampilkan data secara historis, belum mendukung pemantauan jarak jauh, dan tidak memiliki kemampuan supervisi langsung seperti fitur alarm ketika parameter melewati batas aman. Oleh karena itu, sistem yang lebih lengkap diperlukan untuk mendukung operasi *greenhouse* agar lebih modern dan efektif. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa sistem kontrol otomatis pada hidroponik dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air dan nutrisi, sekaligus menurunkan kesalahan dalam pemberian larutan hingga lebih dari 40% (Arif Supriyanto & Fathurrahmani, 2019). Akan tetapi, sebagian besar sistem yang digunakan masih berupa kontrol sederhana berbasis mikrokontroler mandiri tanpa integrasi pengawasan terpusat. Sistem tersebut belum mampu menampilkan data secara historis, belum mendukung pemantauan jarak jauh melalui antarmuka web, dan tidak memiliki kemampuan supervisi langsung. Oleh karena itu, arsitektur SCADA yang memanfaatkan mikrokontroler ESP32 dengan pengkondisi sinyal ADS1115 serta *dashboard*

berbasis web HTML diperlukan untuk mendukung operasi *greenhouse* agar lebih modern, presisi, dan efektif.

Dalam perspektif islam, pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi adalah perintah yang dengan eksplisit dijelaskan dalam Al-Quran. Allah SWT berfirman pada OS. Ar-rahman ayat 33 sebagai berikut:

يَا مَعْشَرَ الْجِنِّ وَالْإِنسِ إِنَّ اسْتَطَعْتُمْ أَنْ تَنْفُذُوا مِنْ أَقْطَارِ السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضِ فَانْفُذُوا ۚ
لَا تَنْفُذُونَ إِلَّا بِسُلْطَانٍ

Artinya: Wahai golongan jin dan manusia! Jika kamu sanggup menembus penjuru langit dan bumi, maka tembuslah. Kamu tidak akan mampu menembusnya kecuali dengan kekuatan (ilmu pengetahuan)."(QS. Ar-rahman:33)

Kata sulthan dalam ayat ini ditafsirkan oleh (Shihab, 2002) dalam Tafsir Al-Misbah sebagai kemampuan intelektual, penguasaan ilmu dan teknologi yang dapat menjadi bekal kita sebagai khalifah di bumi ntuk mendalami alam dan seisinya. Pengembangan SCADA untuk pemantauan dan pengendalian *greenhouse* hidroponik menjadi salah satu bentuk nyata yang digunakan untuk kemaslahatan manusia dan kelestarian alam.

Integrasi SCADA dalam hidroponik ini menghubungkan variabel sensor yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu sensor pH, TDS, suhu larutan (DS18B20), serta sensor suhu dan kelembapan udara (DHT11). Melalui SCADA, seluruh data tersebut dapat ditampilkan secara *real-time* pada antarmuka web, disimpan secara otomatis dalam bentuk data historis, dan digunakan untuk pengambilan keputusan otomatis dalam pengaturan pompa nutrisi dan aktuator koreksi.

Dengan melihat meningkatnya kebutuhan sistem hidroponik yang lebih efisien, presisi, serta mampu bekerja dalam lingkungan *greenhouse* yang dinamis,

maka penerapan SCADA menjadi solusi yang relevan untuk menjawab permasalahan tersebut. Oleh karena itu, penelitian bertema Sistem Hidroponik Berbasis *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) untuk *Greenhouse* penting dilakukan untuk mengembangkan sistem pemantauan dan pengendalian hidroponik yang terintegrasi, memiliki tingkat galat (*error*) pengujian yang sangat minimal, dan mampu meningkatkan produktivitas tanaman di lingkungan *greenhouse*.

“Sistem Hidroponik Berbasis *Supervisory Control and Data acquisition* (SCADA) untuk *Greenhouse*” penting dilakukan untuk mengembangkan sistem pemantauan dan pengendalian hidroponik yang lebih canggih, terintegrasi, dan mampu meningkatkan produktivitas tanaman di lingkungan *greenhouse*. Keterikatan penelitian dalam prespektif islam, pengelolaan sumber daya alam secara bijak dan tidak merusak lingkungan merupakan prinsip yang sangat ditekankan.

Dalam konteks penelitian ini, penerapan sistem hidroponik berbasis *Supervisory Control and Data acquisition* (SCADA) merupakan bentuk upaya menjaga keseimbangan tersebut melalui pengelolaan parameter lingkungan secara presisi, efisien, dan terkontrol. Dengan adanya sistem monitoring dan kontrol otomatis, penggunaan air, nutrisi, serta energi dapat dioptimalkan sehingga meminimalkan pemborosan dan kerusakan lingkungan. Hal ini menunjukkan bahwa teknologi modern seperti SCADA dapat menjadi sarana implementasi nilai-nilai Islam dalam menjaga kelestarian alam dan meningkatkan kesejahteraan manusia secara berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat disusun rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perancangan sistem hidroponik berbasis *Supervisory Control And Data Acquisition* (SCADA) yang dapat digunakan pada *greenhouse*?
2. Bagaimana sistem SCADA dapat melakukan pemantauan parameter hidroponik meliputi TDS, pH, suhu larutan, dan Suhu ruangan secara *real time*?
3. Bagaimana sistem SCADA dapat mengendalikan proses pemberian nutrisi dan pengaturan kondisi lingkungan di dalam *greenhouse* secara otomatis dan terintegrasi?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, tujuan yang ingin dicapai adalah:

1. Merancang dan membangun sistem hidroponik berbasis *Supervisory Control And Data acquisition* (SCADA) yang dapat berfungsi pada *greenhouse*.
2. Mengimplementasikan sistem SCADA untuk melakukan akuisisi data dan pemantauan parameter hidroponik secara *real time* menggunakan sensor TDS, pH, suhu, dan suhu ruangan.
3. Menguji kinerja sistem SCADA dalam melakukan pengendalian otomatis terhadap suplai nutrisi dan pengaturan kondisi iklimat *greenhouse*.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat:

1. Menambah pengetahuan dan wawasan mengenai pengembangan sistem hidroponik berbasis SCADA yang mampu melakukan pemantauan *real time* dengan akurasi tinggi.
2. Memberikan kemudahan bagi petani atau pengelola *greenhouse* dalam mengatur pH, TDS, suhu cairan, dan suhu ruangan, melalui sistem kontrol otomatis terintegrasi.
3. Menjadi dasar ilmiah bagi pengembangan teknologi pertanian presisi berbasis otomasi yang dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air, nutrisi, serta produktivitas tanaman di dalam *greenhouse*.

1.5 Batasan Penelitian

Agar penelitian lebih terfokus, maka ruang lingkup penelitian ini dibatasi sebagai berikut:

1. Penelitian ini dibatasi pada perancangan, implementasi, dan pengujian sistem SCADA untuk pemantauan serta pengendalian parameter hidroponik (TDS, pH, suhu larutan, dan suhu cairan tanpa melakukan pengukuran langsung terhadap parameter pertumbuhan tanaman seperti tinggi tanaman, jumlah daun, atau biomassa.
2. Evaluasi kinerja sistem difokuskan pada akurasi sensor, kestabilan data, respons kontrol, dan fungsi *monitoring real-time*, sehingga hubungan antara parameter lingkungan dengan hasil pertumbuhan atau produktivitas tanaman tidak dianalisis secara biologis.
3. Penelitian tidak membahas perbandingan hasil panen, kualitas tanaman, maupun analisis agronomis, melainkan hanya menilai keberhasilan sistem SCADA sebagai alat *monitoring* dan kontrol otomatis pada sistem

hidroponik di lingkungan *greenhouse*.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Sistem Hidroponik

Sistem hidroponik adalah metode budidaya tanaman tanpa tanah dengan memanfaatkan larutan nutrisi yang terkontrol. Keunggulan utama hidroponik yaitu efisiensi air, efisiensi nutrisi, pertumbuhan tanaman yang lebih cepat, dan lingkungan yang dapat dikontrol secara presisi pada parameter utama seperti keasaman (pH), kepekatan nutrisi (*Total Dissolved Solids*/TDS), serta suhu cairan dan udara lingkungan. Hasil penelitian menunjukkan hidroponik mampu meningkatkan produktivitas tanaman karena nutrisi terserap lebih cepat dan tidak bergantung pada kualitas tanah (Soetedjo & Hendriarianti, 2023). Oleh karena itu, hidroponik sangat cocok untuk diterapkan pada *greenhouse* modern.

Pada sistem hidroponik yang berkembang saat ini, pemantauan kualitas larutan nutrisi seperti pH, TDS, dan suhu menjadi kunci keberhasilan pertumbuhan tanaman. Parameter-parameter tersebut harus berada dalam kondisi stabil agar akar tanaman dapat menyerap unsur hara secara optimal (Adidrana dkk., 2022). Oleh karena itu, pengaturan kualitas nutrisi secara otomatis menggunakan arsitektur pengawasan yang terintegrasi sangat diperlukan agar kondisi larutan tetap berada pada rentang optimum sepanjang waktu tanpa risiko keterlambatan penanganan manual.

2.2 *Supervisory Control and Data acquisition* (SCADA) dalam Hidroponik

Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) adalah sistem yang mengintegrasikan proses pengumpulan data (*data acquisition*), pemantauan terpusat (*monitoring*), kontrol otomatis, manajemen alarm, serta penyimpanan data

historis. Dalam lingkungan *greenhouse* hidroponik, arsitektur SCADA memungkinkan seluruh sensor dan aktuator dipantau serta dikendalikan secara terpadu melalui satu antarmuka digital berbasis *dashboard* web server (Alabi dkk., 2024). Penggunaan SCADA pada sistem hidroponik sangat relevan karena sistem ini mampu membaca data secara *real-time* dari kombinasi sensor kimia dan fisis, meliputi sensor pH, TDS, suhu larutan pada bak nutrisi, serta parameter mikroklimat berupa suhu dan kelembapan udara ruangan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa arsitektur SCADA mampu meningkatkan efisiensi monitoring kualitas nutrisi secara signifikan, memudahkan kendali otomatis pada pompa koreksi, serta memberikan indikasi alarm otomatis ketika parameter lingkungan menyimpang dari ambang batas aman yang telah ditentukan (Soetedjo & Hendriarianti, 2023). Selain itu, implementasi SCADA menggunakan server lokal berbasis mikrokontroler ESP32 memungkinkan pengawasan taktis yang mandiri dan responsif melalui jaringan Wi-Fi tanpa bergantung pada layanan *cloud* pihak ketiga atau biaya operasional yang besar.

2.3 Sensor yang Digunakan dalam Sistem Hidroponik SCADA

Sensor TDS digunakan untuk mengukur tingkat kepekatan nutrisi larutan. Nilai TDS yang tepat memastikan tanaman menerima jumlah nutrisi optimal. Sensor TDS umum digunakan dalam sistem hidroponik otomatis karena mudah diintegrasikan dengan mikrokontroler dan memiliki tingkat akurasi yang baik (Adidrana dkk., 2022). Konsep pengukuran dan ketepatan ini sejalan dengan firman Allah dalam QS. Al-Hijr ayat 19 Sebagai berikut :

وَالْأَرْضَ مَدَدْنَاهَا وَالْقَيْنَا فِيهَا رَوَاسِيَ وَأَنْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ شَيْءٍ مَّوْزُونٍ

Artinya: “Dan Kami telah menghamparkan bumi dan menjadikan padanya gunung-gunung serta Kami tumbuhkan di sana segala sesuatu menurut ukuran.”

Ayat tersebut menegaskan bahwa seluruh ciptaan Allah memiliki ukuran yang tepat dan teratur. Dalam konteks penelitian ini, penggunaan sensor seperti TDS, pH, suhu ruangan, suhu cairan dalam sistem SCADA bertujuan untuk memastikan setiap parameter berada dalam nilai yang terukur dan optimal. Hal ini menunjukkan bahwa penerapan teknologi monitoring dan kontrol otomatis merupakan bentuk implementasi prinsip keterukuran dalam ilmu pengetahuan modern, sehingga sistem dapat berjalan secara stabil, efisien, dan sesuai dengan kebutuhan tanaman (Faizin, 2021).



Gambar 2. 1 Sensor TDS

Sensor pH digunakan untuk memastikan tingkat keasaman larutan berada pada rentang ideal (5.5 – 6.5 untuk sayuran daun). Nilai pH yang tidak stabil dapat menghambat penyerapan nutrisi. Sensor pH elektroda digital banyak digunakan dalam penelitian hidroponik modern dan terbukti memberikan pembacaan stabil jika dikalibrasi secara berkala (Soetedjo & Hendriarianti, 2023).

Sensor Suhu Larutan Suhu larutan nutrisi memengaruhi laju penyerapan nutrisi. Sensor DS18B20 atau sensor suhu analog sering digunakan karena akurasinya tinggi dalam lingkungan berair.

Pengelolaan dan pemantauan laju distribusi air merupakan faktor krusial dalam menjaga kontinuitas suplai larutan nutrisi ke perakaran tanaman pada sistem hidroponik. Informasi mengenai sirkulasi air sangat penting untuk memastikan suplai kebutuhan air bersih tercukupi serta mendeteksi adanya gangguan teknis secara dini, seperti terjadinya penyumbatan pipa distribusi atau kondisi di mana pompa sirkulasi utama tidak berfungsi. Dalam arsitektur SCADA, pengaturan distribusi ini dikendalikan secara terpusat melalui aktivasi aktuator pompa dan *solenoid valve* yang bekerja secara otomatis berdasarkan parameter waktu atau kondisi volume larutan, sehingga sirkulasi air dapat dipantau dan dikontrol secara *real-time*.

Pengelolaan distribusi air yang optimal dalam sistem hidroponik ini sejalan dengan nilai luhur yang terkandung dalam Al-Qur'an, khususnya dalam Q.S. An-Nahl ayat 10:

هُوَ الَّذِي أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً لَكُمْ مِنْهُ شَرَابٌ وَمِنْهُ شَجَرٌ فِيهِ تُسِيمُونَ ﴿١٠﴾ يُنْبِتُ لَكُمْ بِهِ الزَّرْعَ وَالزَّيْتُونَ وَالنَّخِيلَ وَالْأَعْنَابَ وَمِنْ كُلِّ الثَّمَرَاتِ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَةً لِّقَوْمٍ يَتَفَكَّرُونَ ﴿١١﴾

"Dialah yang telah menurunkan air hujan dari langit untuk kamu, sebagiannya menjadi minuman dan sebagiannya (menyuburkan) tumbuh-tumbuhan, yang pada (tempat tumbuhnya) kamu menggembalakan ternakmu. Dia menumbuhkan bagimu dengan air hujan itu tanam-tanaman; zaitun, kurma, anggur, dan segala macam buah-buahan. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar ada tanda (kekuasaan Allah) bagi kaum yang memikirkan." (QS. An-Nahl: 10)

Ibnu Katsir dalam *Tafsir Al-Qur'an Al-'Azhim* menjelaskan bahwa Allah SWT menurunkan satu sumber air yang sama dari langit, namun dari air yang sama tersebut mampu menumbuhkan berbagai macam varietas tumbuhan dengan perbedaan jenis, rasa, warna, hingga aroma yang beraneka ragam. Lebih lanjut, tafsir tersebut menegaskan amanah bagi manusia untuk mampu mengelola dan memanfaatkan sumber daya air tersebut secara bijaksana guna mengairi lahan

pertanian, sehingga dapat menghasilkan produktivitas pangan yang melimpah sebagai tanda kekuasaan Allah bagi kaum yang mau berpikir menggunakan akalunya.

Ayat ini memberikan landasan teologis yang kuat bahwa manajemen dan pengawasan air dalam pertanian modern bukanlah sesuatu yang boleh dilakukan secara sembarangan atau terbengkalai. Dalam penelitian ini, implementasi sistem kontrol otomatis berbasis SCADA berperan sebagai instrumen pengawas yang memastikan sirkulasi dan distribusi larutan nutrisi ke area *greenhouse* tetap terjaga pada kondisi optimal. Melalui pemantauan taktis ini, kegagalan distribusi akibat pompa macet atau malafungsi sistem dapat diantisipasi secara cepat. Prinsip otomatisasi sirkulasi ini menjadi bentuk nyata pengejawantahan pesan dalam QS. An-Nahl: 10, di mana air sebagai elemen vital kehidupan wajib dikelola secara terstruktur, terukur, dan efisien demi kemaslahatan pertumbuhan tanaman secara berkelanjutan.

2.4 Kontrol Otomatis pada Sistem SCADA Hidroponik

Berbagai metode kontrol dapat diterapkan untuk menjaga kestabilan parameter pada sistem hidroponik. Dalam arsitektur sistem yang dikembangkan pada penelitian ini, pendekatan yang digunakan meliputi sistem kontrol *On/Off* untuk manajemen pengaktifan pompa nutrisi dan pompa air, serta penerapan sistem *rule-based* SCADA yang mencakup manajemen alarm otomatis, otomatisasi tindakan berdasarkan nilai ambang batas (*threshold*), dan mekanisme pengalihan aktuator otomatis (*auto-actuator switching*) (O. Aghenta dkk., 2020). Pendekatan kontrol berbasis aturan ini sangat efektif untuk mengondisikan respon taktis

mikrokontroler ESP32 secara instan berdasarkan data pembacaan sensor yang telah dikondisikan melalui modul ADS1115 (Soetedjo & Hendriarianti, 2023).

Sistem kontrol otomatis yang terintegrasi ini memastikan parameter kimia dan fisis kritis larutan seperti tingkat keasaman (pH), kepekatan nutrisi (TDS), serta kondisi suhu cairan dan lingkungan mikro *greenhouse* tetap berada pada rentang optimum sepanjang waktu tanpa memerlukan intervensi manual yang berlebihan. Ketika sensor mendeteksi adanya fluktuasi nilai parameter yang melewati ambang batas aman, pusat kendali SCADA akan langsung mengirimkan sinyal perintah untuk memicu tindakan aktuator koreksi secara presisi. Melalui mekanisme pengawasan dan pengendalian yang terstruktur ini, risiko keterlambatan penanganan dapat diminimalkan sehingga fase pertumbuhan tanaman hortikultura dapat berjalan secara maksimal dan produktivitas hasil panen meningkat.

2.5 Studi Implementasi Sistem SCADA IoT untuk *Greenhouse*

Penelitian terbaru menunjukkan keberhasilan implementasi arsitektur SCADA berbasis IoT dalam mengoptimalkan sistem budidaya hidroponik. Pengembangan sistem SCADA memanfaatkan mikrokontroler ESP32 terbukti mampu melakukan akuisisi data dan memonitor parameter fisis serta kimia seperti pH, TDS, suhu cairan, hingga kelembapan dan suhu udara ruangan secara *real-time*, sekaligus memicu indikasi alarm otomatis saat terjadi anomali nilai pada ambang batas aman (Soetedjo & Hendriarianti, 2023). Selain itu, pengkondisian kontrol nutrisi otomatis berbasis IoT menggunakan integrasi sensor TDS dan pH terbukti secara empiris mampu meningkatkan stabilitas konsentrasi hara di dalam reaktor nutrisi dan mempercepat laju pertumbuhan vegetatif tanaman (Adidrana et al., 2022).

Di sisi lain, studi literatur mengenai pemeliharaan kondisi *greenhouse* modern menegaskan bahwa manajemen kestabilan parameter lingkungan mikro yang saling berkorelasi sangat memengaruhi efisiensi fotosintesis dan produktivitas tanaman hortikultura (Ariesen-Verschuur et al., 2022). Melalui pendekatan tersebut, keseluruhan studi terdahulu mendukung bahwa penggunaan arsitektur SCADA terintegrasi IoT dengan kombinasi sensor parameter utama (TDS, pH, suhu cairan, serta suhu dan kelembapan udara) sangat cocok untuk realisasi *greenhouse* hidroponik modern yang efektif. Sistem terintegrasi ini memberikan solusi komprehensif untuk mengatasi tantangan laten dalam budidaya konvensional, terutama dalam hal pemantauan terpusat dan pengendalian parameter lingkungan secara presisi, mandiri, dan berkelanjutan.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental dengan pendekatan rekayasa sistem (*engineering research*) yang bertujuan untuk merancang, membangun, dan menguji sistem hidroponik berbasis *Supervisory Control and Data acquisition* (SCADA) pada *greenhouse*. Sistem yang dikembangkan digunakan untuk melakukan pemantauan dan pengendalian parameter hidroponik secara *real time*, meliputi nilai TDS, pH, suhu larutan nutrisi, dan suhu ruang, yang seluruhnya terintegrasi dalam sistem SCADA sebagai pusat monitoring, penyimpanan data, dan kontrol otomatis. Penelitian ini bersifat kuantitatif, karena data yang dianalisis berupa nilai numerik hasil pembacaan sensor, dengan fokus evaluasi pada kinerja sistem SCADA meliputi akurasi sensor, kestabilan data, serta kemampuan sistem dalam menjaga kondisi hidroponik tetap berada pada rentang optimal di lingkungan *greenhouse*.

3.2 Sumber Data Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Januari 2026 di Laboratorium Instrumentasi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

3.3 Rancangan Penelitian

3.3.1 Alat Penelitian

1. Mikrokontroler (ESP32)
2. Sensor *Total Dissolved Solids* (TDS)
3. Sensor pH

4. Sensor Suhu Larutan (DS18B20 / sensor suhu air)
5. Sensor Suhu ruangan (DHT11)
6. Pompa Air / Pompa Nutrisi
7. Solenoid Valve / Relay Modul
8. Catu Daya (Adaptor, Power Supply DC)
9. Kabel Jumper, PCB, dan Komponen Pendukung
10. Laptop / Komputer

3.3.1 Bahan Penelitian

1. Larutan pH
2. Larutan PPM
3. Air PAM, Air Es, Air Hangat
4. Tempertur Dalam Lab, Dalam Gedung, Luar Gedung

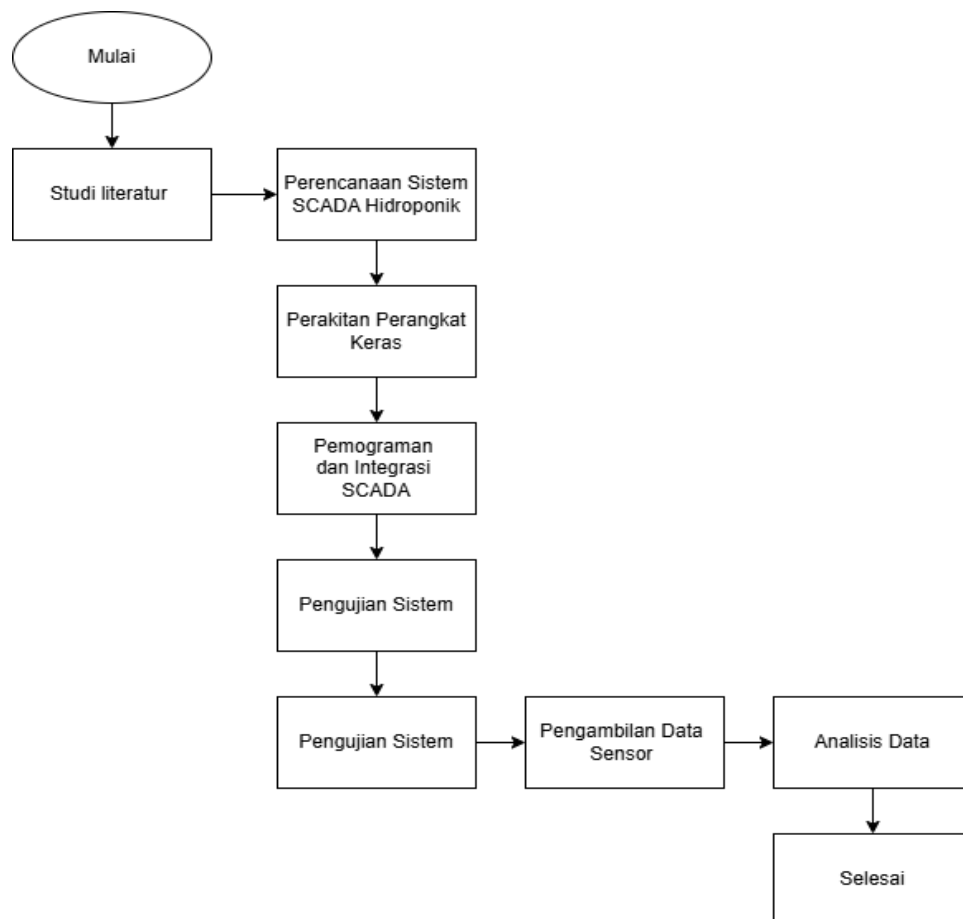
3.4 Variabel Penelitian

Variabel penelitian dalam penelitian ini terdiri atas variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja sistem hidroponik berbasis *Supervisory Control and Data acquisition* (SCADA) pada *greenhouse*. Variabel bebas meliputi parameter hidroponik dan lingkungan yang dipantau oleh sistem SCADA, yaitu nilai *Total Dissolved Solids* (TDS), pH larutan nutrisi, suhu larutan, dan suhu ruang. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah kinerja sistem SCADA yang ditinjau dari akurasi pembacaan sensor, kestabilan data monitoring secara *real-time*, serta respons sistem kontrol otomatis terhadap perubahan nilai parameter. Sementara itu, variabel kontrol meliputi konfigurasi sistem hidroponik, spesifikasi perangkat keras dan sensor, algoritma pengendalian SCADA, sumber daya listrik, serta kondisi lingkungan pengujian yang dijaga relatif

konstan agar hasil penelitian mencerminkan kinerja sistem secara objektif dan terukur.

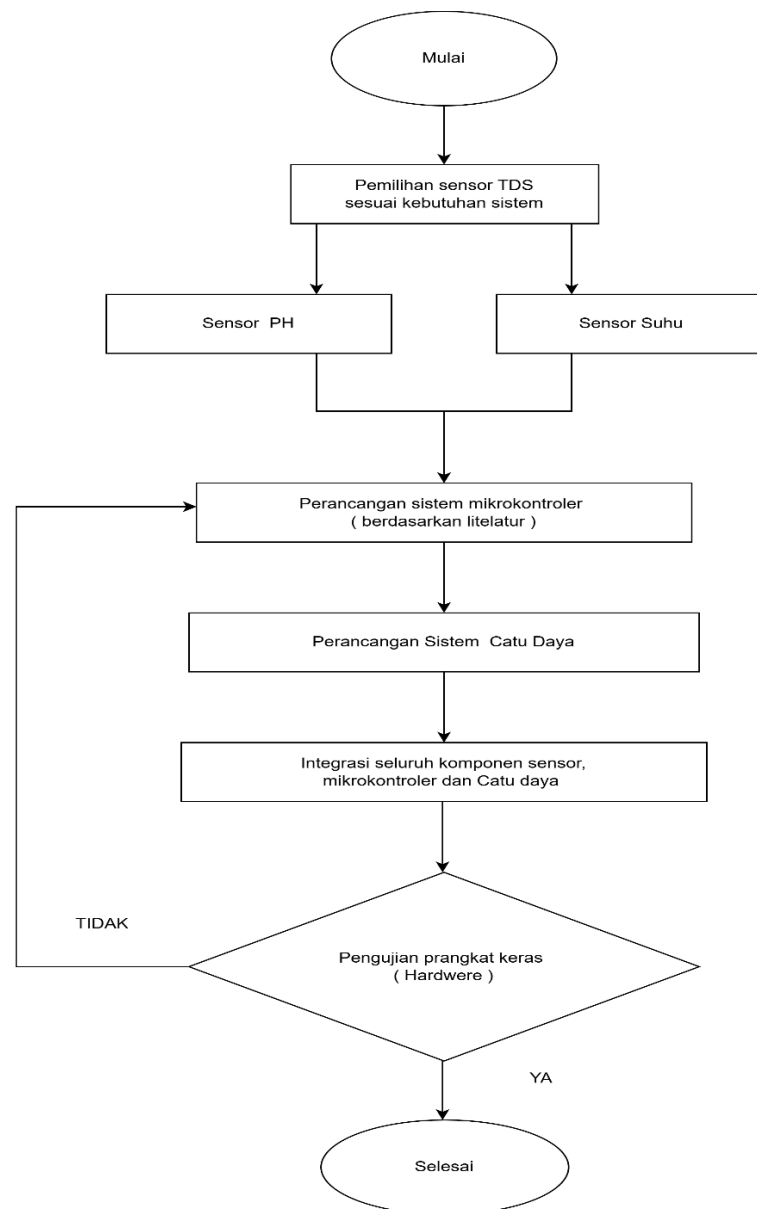
3.5 Diagram Penelitian

Diagram penelitian ini menggambarkan alur pelaksanaan penelitian secara sistematis mulai dari tahap perencanaan hingga analisis hasil guna memberikan gambaran menyeluruh mengenai pengembangan sistem hidroponik berbasis SCADA pada *greenhouse* yang mengintegrasikan kriteria fungsional berupa akuisisi data sensor (TDS, pH, suhu ruang ,suhu cairan), pengawasan melalui antarmuka *real-time*, kendali otomatis aktuator, serta penyimpanan data historis.



Gambar 3. 1 Diagram alir prosedur penelitian

3.6 Prosedur Penelitian



Gambar 3. 2 Diagram alir penelitian *hardware*

Berikut merupakan penjelasan mengenai tahapan-tahapan dalam pembuatan perancangan perangkat keras dari penelitian ini.

1. Pemilihan Sensor TDS

Tahap awal dilakukan dengan memilih sensor *Total Dissolved Solids* (TDS) yang sesuai dengan kebutuhan sistem hidroponik. Pemilihan

sensor didasarkan pada rentang pengukuran, tingkat akurasi, serta kompatibilitas sensor dengan mikrokontroler yang digunakan agar data nutrisi dapat terbaca secara akurat dan stabil.

2. Perancangan Sistem Mikrokontroler

Pada tahap ini dilakukan perancangan sistem mikrokontroler sebagai pusat pengolahan data dan pengendalian sistem. Perancangan meliputi pemilihan jenis mikrokontroler, penentuan konfigurasi pin *input* dan *output*, serta pengaturan komunikasi data dengan sensor dan sistem SCADA berdasarkan literatur yang relevan.

3. Perancangan Sistem Catu Daya

Tahap ini berfokus pada perancangan sistem catu daya yang berfungsi untuk menyuplai energi listrik ke seluruh komponen dalam sistem. Perancangan dilakukan dengan menganalisis kebutuhan daya total dari setiap komponen, kemudian menentukan sumber catu daya yang sesuai serta kapasitas penyimpanan energi yang dibutuhkan. Selain itu, digunakan rangkaian pengatur tegangan (*voltage regulator*) untuk menjaga kestabilan tegangan agar sesuai dengan spesifikasi kerja perangkat. Dengan perancangan ini, diharapkan sistem catu daya mampu menyediakan suplai listrik yang stabil, aman, dan berkelanjutan sehingga seluruh sistem dapat beroperasi secara optimal.

4. Integrasi Seluruh Komponen

Pada tahap ini seluruh komponen *hardware*, meliputi sensor TDS, mikrokontroler, komponen pendukung lainnya, diintegrasikan menjadi satu sistem terpadu. Integrasi dilakukan dengan memastikan koneksi

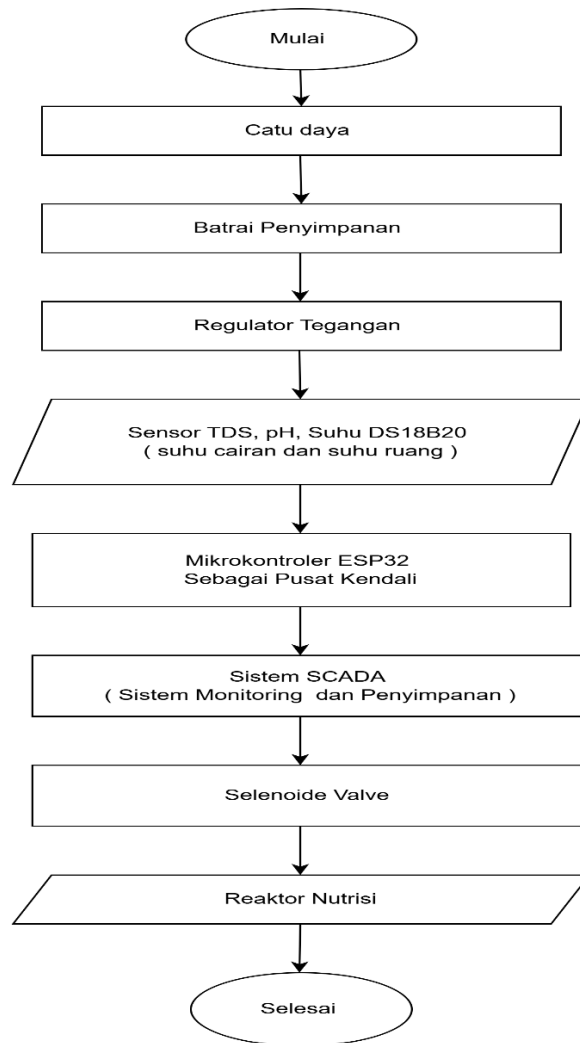
antar komponen berjalan dengan baik dan sistem dapat berfungsi secara keseluruhan.

5. Pengujian Perangkat Keras (*Hardware Testing*)

Tahap akhir adalah pengujian perangkat keras untuk memastikan sistem bekerja sesuai dengan perancangan. Pengujian meliputi pengecekan pembacaan sensor, kinerja mikrokontroler, serta kestabilan sistem catu daya. Hasil pengujian digunakan sebagai dasar evaluasi kelayakan perangkat keras sebelum diterapkan pada sistem hidroponik berbasis SCADA.

3.7 Rancangan Alat

Berikut adalah rancangan *hardware* pada penelitian kali ini :



Gambar 3. 3 *Flowchart*

3.7.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh informasi mengenai kinerja sensor dan sistem *monitoring* yang telah dirancang. Data diperoleh melalui serangkaian pengujian pada masing-masing sensor dengan menggunakan sampel dan kondisi pengujian yang berbeda. Setiap pengujian

dilakukan sebanyak beberapa kali pengulangan untuk mendapatkan data yang lebih akurat dan konsisten. Hasil pembacaan sensor kemudian dibandingkan dengan alat ukur standar sebagai nilai acuan. Adapun proses pengumpulan data dilakukan sebagai berikut:

1. Sensor pH diuji menggunakan tiga larutan buffer standar, yaitu pH 4,01, pH 6,86, dan pH 9,18. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat akurasi sensor dalam mengukur nilai derajat keasaman larutan.
2. Sensor TDS (*Total Dissolved Solids*) diuji menggunakan tiga larutan standar dengan konsentrasi 500 ppm, 1000 ppm, dan 1382 ppm. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam mengukur jumlah padatan terlarut yang terdapat dalam larutan.
3. Sensor DHT11 diuji pada tiga kondisi lingkungan yang berbeda, yaitu di dalam laboratorium, di luar laboratorium, dan di luar gedung. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam mengukur suhu dan kelembapan udara pada kondisi lingkungan yang bervariasi.
4. Sensor DS18B20 diuji menggunakan tiga jenis sampel air, yaitu air PAM dengan suhu sekitar 23°C, air panas dengan rentang suhu 40–48°C, dan air dingin dengan rentang suhu 3–6°C. Pengujian dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi sensor dalam mengukur suhu air pada rentang suhu yang berbeda.

Data hasil pengujian yang diperoleh kemudian dicatat dan diolah menggunakan analisis statistik berupa nilai rata-rata, galat relatif (*error*), dan standar deviasi. Analisis tersebut dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi,

presisi, dan kestabilan kinerja sensor serta sistem *monitoring* yang telah dirancang.

3.7.2 Analisis dan Visualisasi

Analisis dan visualisasi data pada penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem hidroponik berbasis *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) dalam melakukan monitoring parameter hidroponik secara *real-time*. Data yang dianalisis merupakan hasil pengukuran dari Sensor pH, Sensor TDS, Sensor DHT11, dan Sensor DS18B20 yang telah terintegrasi dengan sistem SCADA berbasis *web server*. Analisis dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat ukur referensi untuk mengetahui tingkat akurasi, presisi, dan kestabilan masing-masing sensor. Parameter yang dianalisis meliputi derajat keasaman (pH) larutan nutrisi, *Total Dissolved Solids* (TDS), suhu udara, dan suhu air. Selain itu, analisis juga dilakukan terhadap nilai rata-rata, galat relatif, dan standar deviasi dari setiap hasil pengukuran sensor. Visualisasi data ditampilkan dalam bentuk grafik pada sistem SCADA untuk menunjukkan perbandingan hasil pembacaan sensor dengan nilai referensi serta mempermudah proses evaluasi kinerja sistem monitoring yang dikembangkan. Melalui visualisasi tersebut, tingkat akurasi dan konsistensi pembacaan sensor dapat diamati secara lebih mudah sehingga efektivitas sistem SCADA dalam melakukan monitoring parameter hidroponik dapat dievaluasi dengan baik.

3.7.3 Tabel Hasil Data

Berikut tabel yang di gunakan untuk pengambilan data pada penelitian kali ini :

Tabel 3. 1 Validasi sensor

pH		TDS		Suhu Cairan		Suhu Ruang	
pH Larutan	pH Sensor	TDS Larutan	Sensor TDS	Suhu Validator	Suhu Sensor	Suhu Validator	Suhu Sensor

Tabel 3. 2 Tabel pengambilan data sementara

No	Waktu pengukuran	Ph Sensor	TDS Sensor	Suhu Cairan	Suhu Ruangan
1	08.00.00				
2	08.03.00				
3	08.06.00				
4	08.09.00				
5	08.12.00				
6	08.15.00				
7	08.18.00				
8	08.21.00				
9	08.24.00				
10	08.27.00				

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perancangan dan Implementasi Perangkat Keras (*Hardware*)

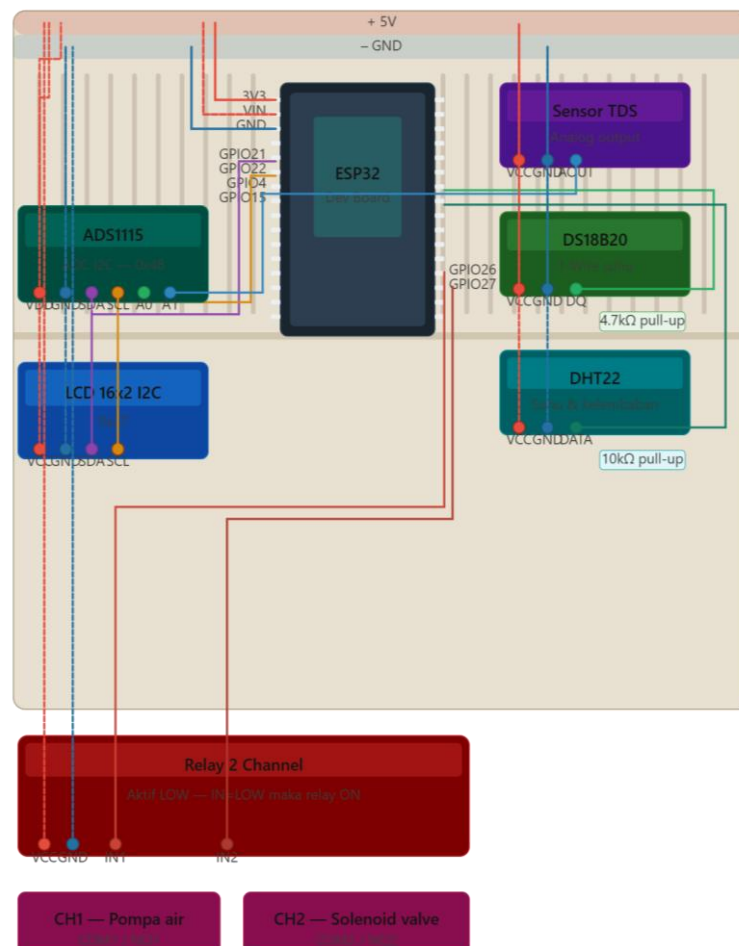
Pada penelitian ini telah berhasil dirancang dan diimplementasikan sistem hidroponik berbasis *Supervisory Control and Data acquisition* (SCADA) untuk *greenhouse* menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali sistem. Sistem dirancang untuk melakukan monitoring dan kontrol parameter hidroponik secara *real time* yang meliputi nilai TDS, pH, suhu larutan nutrisi, dan suhu ruangan *greenhouse* .

Implementasi perangkat keras dilakukan dengan mengintegrasikan beberapa sensor dan aktuator ke dalam satu sistem terpusat. Sensor TDS digunakan untuk membaca konsentrasi nutrisi larutan hidroponik, sensor pH digunakan untuk mengukur tingkat keasaman larutan, sensor DS18B20 digunakan untuk mengukur suhu cairan nutrisi, sedangkan sensor DHT11 digunakan untuk memantau suhu ruangan *greenhouse*. Seluruh data sensor diproses oleh ESP32 kemudian dikirimkan menuju sistem SCADA untuk ditampilkan secara *real time*.

Selain sensor, sistem juga dilengkapi dengan pompa air dan solenoid valve yang berfungsi sebagai aktuator dalam proses distribusi larutan nutrisi. Aktuator dikendalikan secara otomatis berdasarkan parameter yang telah ditentukan pada sistem SCADA. Dengan adanya integrasi ini, sistem mampu melakukan monitoring dan pengendalian secara otomatis sehingga dapat meningkatkan efisiensi pengelolaan hidroponik di dalam *greenhouse*.

4.1.1 Perancangan Alat

Perancangan alat pada penelitian ini dilakukan dengan mengintegrasikan seluruh komponen perangkat keras menjadi satu sistem monitoring dan kontrol hidroponik berbasis SCADA. Sistem dirancang agar mampu melakukan pembacaan data sensor secara *real time* serta mengendalikan aktuator secara otomatis sesuai kondisi parameter hidroponik.



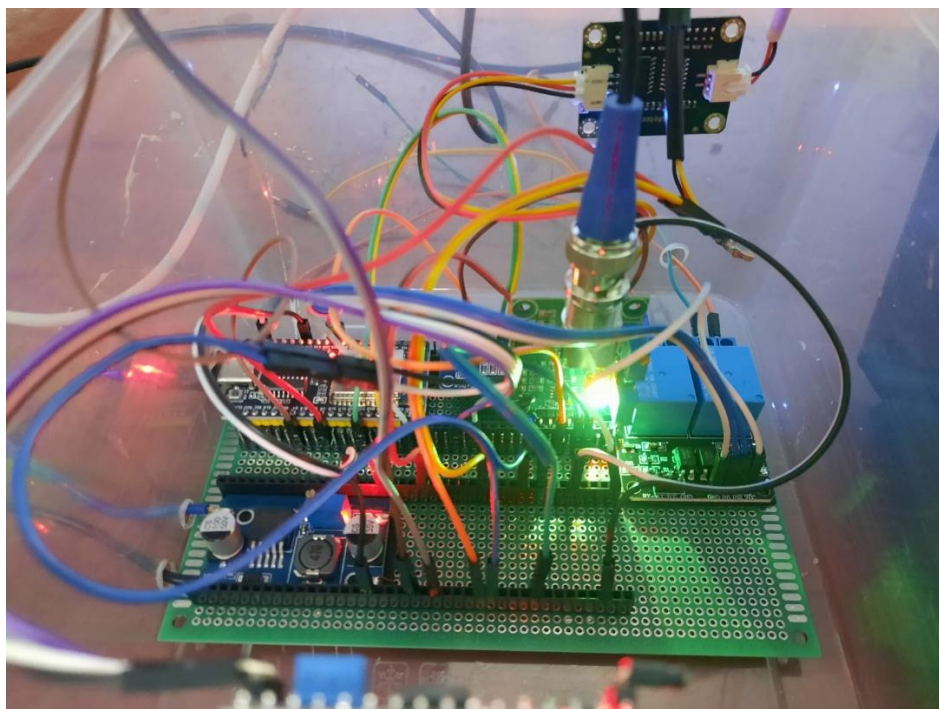
Gambar 4. 1 Rangkaian Alat

Data hasil pembacaan sensor kemudian dikirim menuju antarmuka SCADA untuk ditampilkan dalam bentuk monitoring *real-time* dan penyimpanan data historis. Sistem SCADA juga digunakan untuk melakukan

pengawasan kondisi *greenhouse* serta memberikan kontrol otomatis terhadap aktuator berupa pompa air dan solenoid valve.

Sistem SCADA juga digunakan untuk melakukan pengawasan kondisi *greenhouse* serta memberikan kontrol otomatis terhadap aktuator berupa pompa air dan solenoid valve.

Adapun hubungan antar komponen ditunjukkan melalui skema rangkaian berikut. Rangkaian di atas akan di tempatkan ke dalam kotak *project* sesuai dengan gambar di bawah ini.



Gambar 4. 2 totype Alat

Setelah di lakukan perancangan instrumentasi Gambar 4.2 merupakan tampilan akhir sistem hidroponik berbasis *supervisory control and data acquisition* (SCADA) yang telah di gabungan dari beberapa komponen mulai dari ESP32 sebagai pusat sistem mikrokontroler, sensor TDS, pH, DHT11, DS18B20 Sebagai nilai *input*, solinoid valve sebagai kran otomatis , kabel

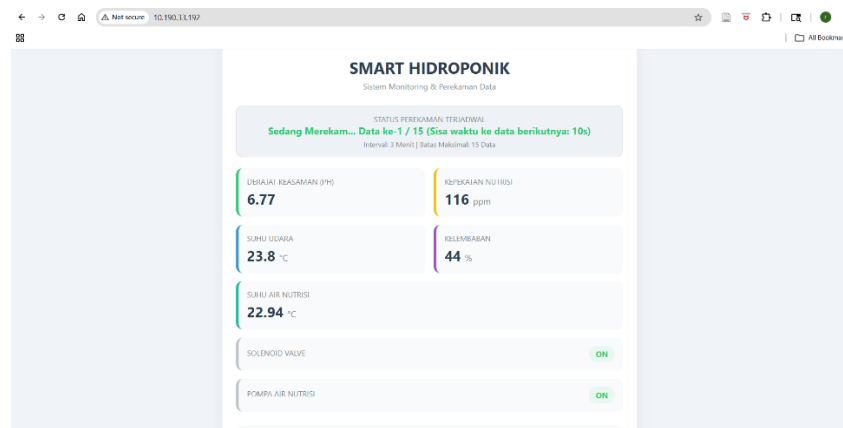
jumper, dan adaptor 12V sebagai penyuplai daya adapun cara perakitan alat sebagai berikut.

Pada tahap perancangan rangkaian alat, seluruh komponen dihubungkan menggunakan *breadboard* agar memudahkan proses pemasangan dan pengujian sistem. Sumber daya utama menggunakan adaptor 12V DC yang dihubungkan ke modul *step down* LM2596 untuk menurunkan tegangan menjadi 5V, kemudian tegangan tersebut digunakan untuk menyuplai ESP32, relay, dan sensor. ESP32 digunakan sebagai pusat kendali sistem yang terhubung dengan modul ADS1115 melalui komunikasi I2C menggunakan pin GPIO21 sebagai SDA dan GPIO22 sebagai SCL. Sensor TDS dan sensor pH dihubungkan ke ADS1115 agar pembacaan data analog menjadi lebih akurat. Selain itu, sensor suhu cairan DS18B20 dihubungkan ke pin GPIO25 ESP32, sedangkan sensor DHT11 untuk membaca suhu dan kelembapan ruangan dihubungkan ke pin GPIO27. Pada bagian *output*, digunakan modul relay 2 channel yang terhubung ke GPIO23 dan GPIO19 ESP32 untuk mengontrol pompa nutrisi TDS dan solenoid valve secara otomatis. Seluruh data sensor yang dibaca oleh ESP32 kemudian dikirim ke sistem monitoring SCADA melalui jaringan WiFi sehingga kondisi greenhouse dapat dipantau secara *real-time*. Seluruh komponen dihubungkan dengan jalur ground yang sama agar sistem dapat bekerja stabil dan komunikasi antar perangkat berjalan dengan baik

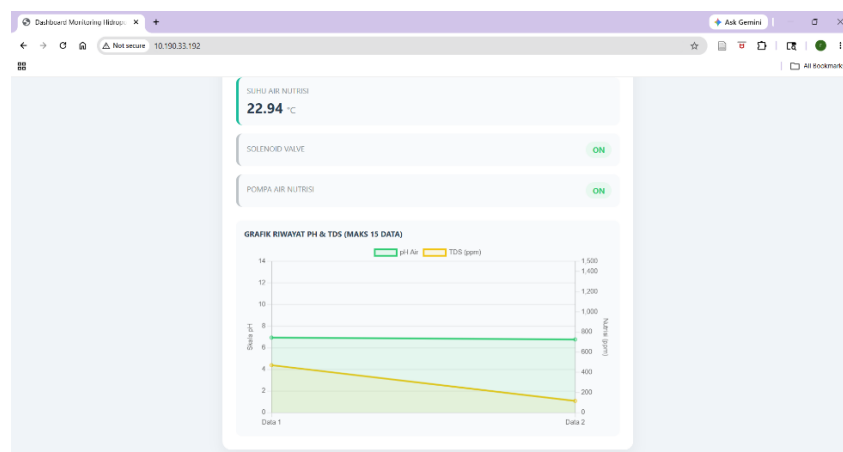
4.1.1 Perancangan *Software*

Pada penelitian ini, perangkat lunak sistem dirancang menggunakan bahasa pemrograman HTML yang dikembangkan sendiri sebagai antarmuka monitoring dan kontrol sistem. *Software* tersebut berfungsi sebagai *web server* lokal yang dapat diakses melalui jaringan WiFi sehingga pengguna dapat

melakukan pemantauan serta pengaturan sistem penyiraman secara *real-time* menggunakan *smartphone* maupun komputer. Untuk dapat terhubung dengan sistem, pengguna harus mengakses alamat IP yang telah ditentukan pada *browser*, sehingga tampilan monitoring dan kontrol dapat dijalankan tanpa memerlukan aplikasi tambahan. Tampilan antarmuka dibuat responsif dan *user friendly* agar memudahkan pengguna dalam mengontrol jadwal penyiraman, memonitor nilai sensor, serta mengatur parameter sistem secara langsung melalui *browser*.



Gambar 4. 3 Tampilan Tampilan Dashboard di laptop



Gambar 4. 4 Tampilan Dashboard Grafik pada laptop.



Gambar 4. 5 Tampilan *Dashboard* pada *handphone*

Dari gambar diatas, keberhasilan perancangan *interface* yang responsif dan dapat diakses melalui *handphone* ataupun laptop tanpa adanya aplikasi tambahan mencerminkan prinsip kemudahan (taisir) dalam islam.

4.2 Uji Alat dan Komponen

Pada tahap ini, sebelum melakukan pengujian prototipe secara menyeluruh, dilakukan terlebih dahulu pengujian terhadap masing-masing komponen alat dan bahan yang digunakan. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa setiap komponen berfungsi dengan baik dan dapat beroperasi sesuai dengan fungsinya. Beberapa pengujian yang dilakukan meliputi:

4.2.1 Uji Kesesuaian Sensor

Pengujian kesesuaian sensor dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi dan kestabilan seluruh sensor yang digunakan pada sistem hidroponik berbasis SCADA. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat ukur validator pada setiap parameter yang diukur, meliputi sensor

TDS, sensor pH, sensor suhu cairan DS18B20, dan sensor suhu ruangan DHT11. Proses pengujian dilakukan secara *real time* dengan beberapa kali pengambilan data untuk memastikan sensor dapat bekerja dengan baik dan stabil selama sistem beroperasi.

Pada pengujian sensor TDS, nilai pembacaan sensor dibandingkan dengan alat TDS meter validator. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor mampu membaca konsentrasi nutrisi dengan selisih yang relatif kecil sehingga data yang dihasilkan masih dalam kategori baik untuk monitoring hidroponik. Selanjutnya, sensor pH diuji menggunakan alat pH meter validator dan menunjukkan hasil pembacaan yang mendekati nilai sebenarnya setelah dilakukan proses kalibrasi.

Untuk sensor suhu cairan DS18B20, pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan terhadap termometer digital. Sensor mampu membaca suhu larutan nutrisi dengan stabil dan memiliki selisih pembacaan yang kecil. Sedangkan pada sensor DHT11, pengujian dilakukan dengan membandingkan suhu ruangan terhadap termometer ruangan sebagai validator. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa sensor mampu bekerja dengan baik dalam membaca kondisi suhu *greenhouse*.

Selain pengujian akurasi sensor, dilakukan juga pengujian komunikasi data menuju sistem SCADA. Seluruh data sensor berhasil dikirim oleh ESP32 melalui jaringan WiFi dan dapat ditampilkan pada *dashboard* monitoring secara *real time* tanpa mengalami keterlambatan yang signifikan. Dengan demikian, seluruh sensor yang digunakan pada penelitian ini dinilai sesuai dan mampu bekerja dengan baik dalam sistem monitoring hidroponik berbasis SCADA.

4.2.2 Hasil Pengujian Validasi

Data hasil pengujian dari keempat sensor diolah untuk mendapatkan parameter statistik deskriptif. Rangkuman komprehensif dari hasil kalkulasi tersebut disajikan pada tabel berikut:

Tabel 4. 1 Perbandingan Larutan pH dan Sensor pH

Larutan pH 4.01			
NO	Larutan pH 4.01	Sensor pH	Error %
1	4.01	4.25	0.06
2	4.01	4.21	0.05
3	4.01	4.22	0.05
4	4.01	4.31	0.07
5	4.01	4.22	0.05
6	4.01	4.01	0.00
7	4.01	3.94	0.02
8	4.01	3.94	0.02
9	4.01	3.95	0.01
10	4.01	3.95	0.01
Rata-rata	4.01	4.1	0.035411
SD	0	0.15341	0.02510

Tabel 4. 2 Perbandingan Larutan pH 6.86 dan Sensor pH

Larutan pH 6.86			
NO	Larutan pH 6.86	Sensor pH	Error %
1	6.86	7.06	0.03
2	6.86	7.06	0.03
3	6.86	7.06	0.03
4	6.86	7.05	0.03
5	6.86	7.06	0.03
6	6.86	7.06	0.03
7	6.86	7.06	0.03
8	6.86	7.03	0.02
9	6.86	7.03	0.02
10	6.86	7.04	0.03
Rata-rata	6.86	7.051	0.027843
SD	0	0.01287	0.00188

Tabel 4. 3 Perbandingan Larutan pH 9.18 dan Sensor pH

Larutan pH 9.18			
NO	Larutan pH 9.18	Sensor pH	Error %
1	9.18	9.5	0.03
2	9.18	9.46	0.03
3	9.18	9.44	0.03

4	9.18	9.47	0.03
5	9.18	9.44	0.03
6	9.18	9.75	0.06
7	9.18	9.75	0.06
8	9.18	9.75	0.06
9	9.18	9.75	0.06
10	9.18	9.75	0.06
Rata-rata	9.18	9.606	0.046405
SD	0	0.15269	0.01663

Tabel 4. 4 Perbandingan Larutan TDS 500 dan Sensor TDS

Larutan TDS PPM (500)			
NO	Larutan (ppm 500)	Sensor TDS	Error %
1	500	492	0.02
2	500	497	0.01
3	500	494	0.01
4	500	490	0.02
5	500	488	0.02
6	500	492	0.02
7	500	488	0.02
8	500	483	0.03
9	500	491	0.02
10	500	492	0.02
Rata-rata	500	490.7	0.0186
SD	0	3.8020462	0.007604

Tabel 4. 5 Perbandingan Larutan TDS 1000 dan Sensor TDS

Larutan TDS PPM (1000)			
NO	Larutan (ppm 1000)	Sensor TDS	Error %
1	1000	999	0.00
2	1000	989	0.01
3	1000	981	0.02
4	1000	988	0.01
5	1000	988	0.01
6	1000	986	0.01
7	1000	991	0.01
8	1000	980	0.02
9	1000	990	0.01
10	1000	998	0.00
Rata-rata	1000	989	0.011
SD	0	6.164414	0.006164

Tabel 4. 6 Perbandingan Larutan TDS 1382 dan Sensor TSD

Larutan TDS PPM (1382)			
NO	Larutan (ppm 1382)	Snsor TDS	Error %
1	1382	1334	0.03
2	1382	1351	0.02

3	1382	1355	0.02
4	1382	1341	0.03
5	1382	1341	0.03
6	1382	1334	0.03
7	1382	1322	0.04
8	1382	1344	0.03
9	1382	1341	0.03
10	1382	1348	0.02
Rata-rata	1382	1341.1	0.029595
SD	0	9.5038004	0.006877

Tabel 4. 7 Perbandingan Termometer Dalam Lab dan Sensor DHT11

Dalam Laboratorium Sensor			
NO	Temp (lab)	DHT11	Error %
1	24	24.8	0.03
2	24	24.8	0.03
3	24	24.8	0.03
4	24	24.8	0.03
5	24	24.8	0.03
6	24	24.8	0.03
7	25	25.3	0.01
8	25	25.3	0.01
9	25	24.9	0.00
10	25	24.9	0.00
Rata-rata	24.4	24.92	0.0232
SD	0.5163978	0.20439613	0.013351

Tabel 4. 8 Perbandingan Termometer Dalam Gedung Fakultas

Dalam Gedung Fakultas			
NO	Temp (Dalam Fakultas)	DHT11	Error %
1	25	25.8	0.03
2	25	25.8	0.03
3	25	25.8	0.03
4	25	25.8	0.03
5	25	25.8	0.03
6	25	25.4	0.02
7	25	25.5	0.02
8	25	25.5	0.02
9	25	25.5	0.02
10	25	25.7	0.03
Rata-rata	25	25.66	0.0264
SD	0	0.164655	0.006586

Tabel 4. 9 Perbandingan Termometer Luar Ruangan Dan Sensor DHT11

Luar Ruangan			
NO	Temp (Luar gedung)	DHT11	Error %
1	28	28	0.00
2	28	28.1	0.00
3	28	28.1	0.00
4	28	28.1	0.00
5	28	28.1	0.00
6	28	28.1	0.00
7	28	28.1	0.00
8	28	28.7	0.03
9	28	28.7	0.03
10	28	28.5	0.02
Rata-rata	28	28.25	0.008929
SD	0	0.271825	0.009708

Tabel 4. 10 Perbandingan Termometer Air PAM dan Sensor DS18B20

Air PAM			
NO	Temp (Air PAM)	DS18B20	Error %
1	23.3	23.62	0.014
2	23.3	23.62	0.014
3	23.3	23.62	0.014
4	23.3	23.62	0.014
5	23.3	23.62	0.014
6	23.3	23.62	0.014
7	23.3	23.62	0.014
8	23.2	23.5	0.013
9	23.2	23.49	0.013
10	23.2	23.48	0.012
Rata-rata	23.27	23.581	0.013
SD	0.04830459	0.05974111	0.00063

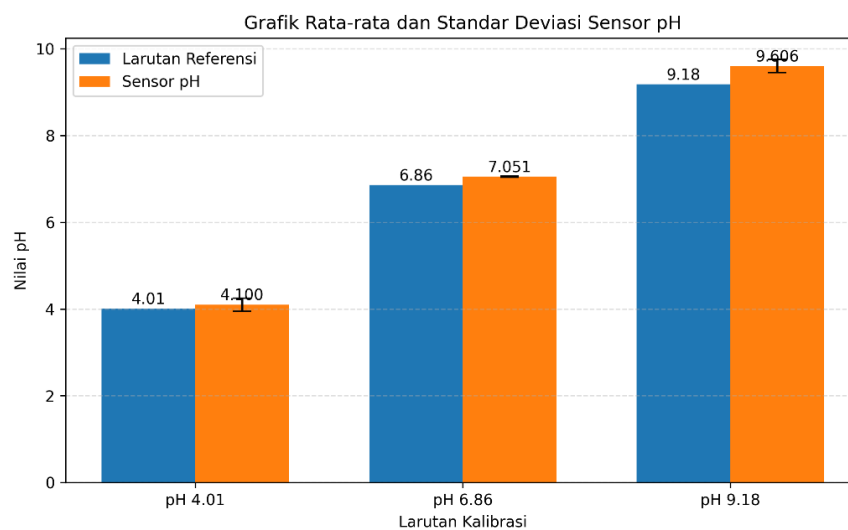
Tabel 4. 11 Perbandingan Termometer Air Hangat Dan Sensor DS18B20

Air Hangat (40–48°C)			
NO	Temp (Air Hangat)	DS18B20	Error %
1	47.9	47.11	0.016
2	47.9	47.11	0.016
3	46.7	46.34	0.008
4	45.1	45.21	0.002
5	44.4	44.12	0.006
6	43.1	43.31	0.005
7	42.4	42.1	0.007
8	40.9	40.1	0.020
9	39.9	39.67	0.006
10	39.9	39.71	0.005
Rata-rata	43.82	43.478	0.009
SD	3.079610365	2.981844	0.006007

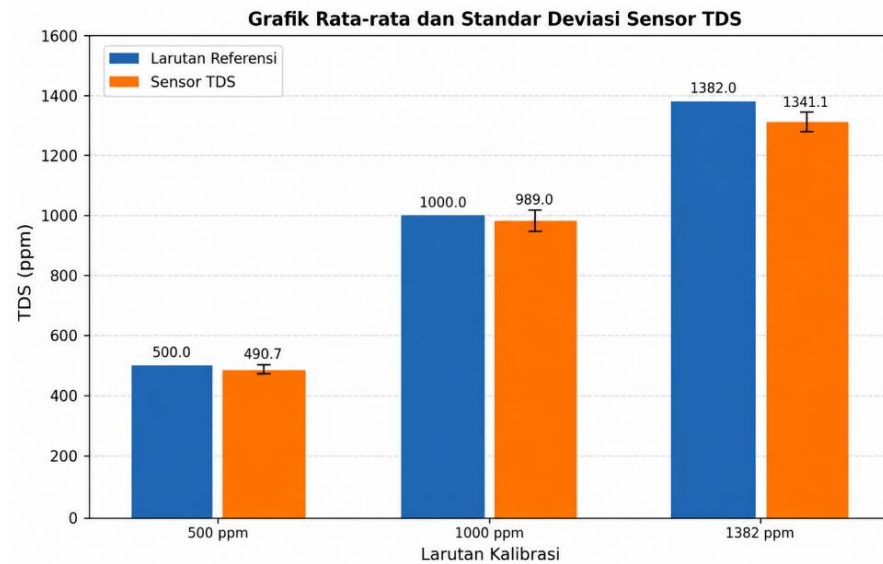
Tabel 4. 12 Perbandingan termometer Air Dingin dan Sensor DS18B20

Air ES			
NO	Temp (Air ES)	DS18B20	Error
1	2.9	2.92	0.007
2	2.9	2.23	0.231
3	2.9	29.91	9.314
4	3	3.31	0.103
5	3.4	3.41	0.003
6	3.7	3.77	0.019
7	4.1	4.66	0.137
8	4.9	4.9	0.000
9	5	5.14	0.028
10	6	6.79	0.132
Rata-rata	3.88	6.704	0.997
SD	1.093211375	8.257775	2.923118

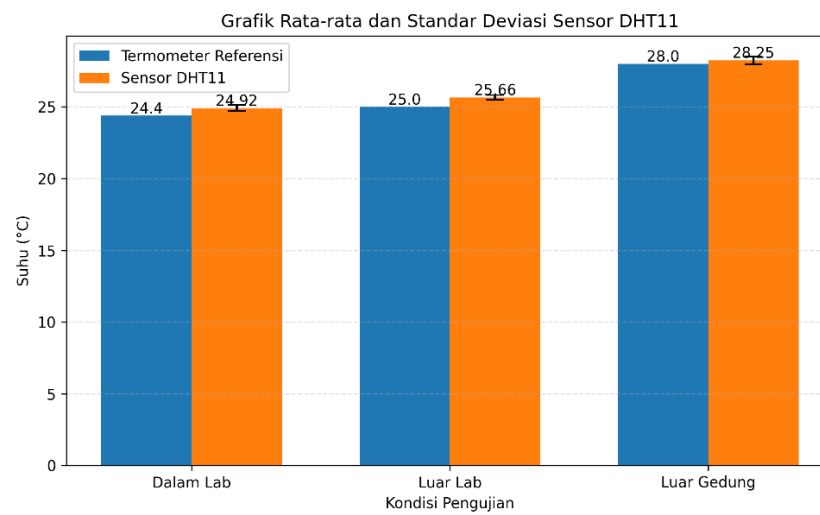
Berikut Grafik hasil rata-rata dan Standar Deviasi :



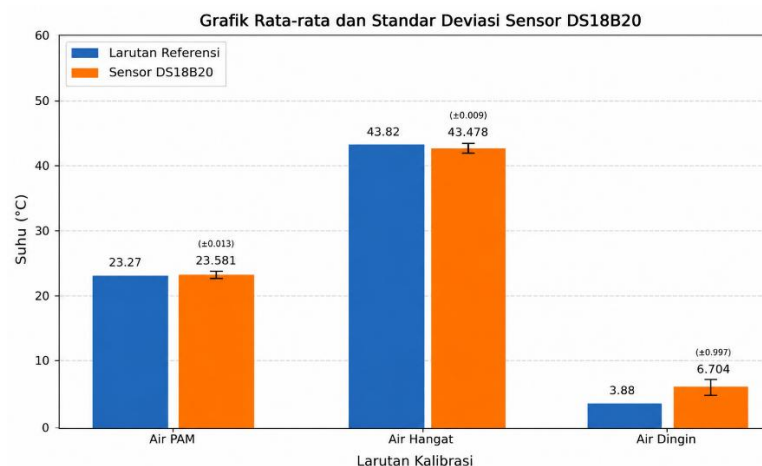
Gambar 4. 6 Grafik rata rata dan standart deviasi pada sensor pH



Gambar 4. 7 Grafik Rata – rata dan standar deviasi sensor TDS



Gambar 4. 8 Grafik Rata – rata dan standar deviasi sensor DHT11



Gambar 4. 9 Grafik Rata – rata dan standar deviasi sensor DS18B20

4.2.3 Analisis dan Pembahasan Hasil Validasi

1. Sensor pH

Hasil pengujian Sensor pH menunjukkan bahwa sensor mampu membaca nilai pH larutan dengan tingkat akurasi yang baik pada seluruh larutan kalibrasi yang digunakan. Pada larutan buffer pH 4,01, Sensor pH menghasilkan rata-rata pembacaan sebesar 4,10 dibandingkan nilai referensi 4,01 dengan galat relatif rata-rata sebesar 2,24% dan standar deviasi sebesar 0,153. Pada larutan buffer pH 6,86, Sensor pH menghasilkan rata-rata pembacaan sebesar 7,05 dibandingkan nilai referensi 6,86 dengan galat relatif rata-rata sebesar 2,78% dan standar deviasi sebesar 0,013. Sementara itu, pada larutan buffer pH 9,18, Sensor pH menghasilkan rata-rata pembacaan sebesar 9,61 dibandingkan nilai referensi 9,18 dengan galat relatif rata-rata sebesar 4,64% dan standar deviasi sebesar 0,153.

Berdasarkan hasil pengujian tersebut, seluruh nilai galat relatif masih berada di bawah 5%, sehingga Sensor pH dapat dikategorikan memiliki tingkat akurasi yang baik untuk kebutuhan monitoring kualitas air pada sistem hidroponik. Nilai standar deviasi yang relatif kecil menunjukkan bahwa

sensor mampu menghasilkan pembacaan yang konsisten pada setiap pengukuran. Galat terbesar terjadi pada larutan pH 9,18 yang menunjukkan adanya kecenderungan sensor memberikan pembacaan sedikit lebih tinggi pada kondisi basa. Namun demikian, penyimpangan tersebut masih berada dalam batas yang dapat diterima sehingga Sensor pH layak digunakan dalam sistem monitoring yang dikembangkan.

2. Sensor TDS

Hasil validasi Sensor TDS menunjukkan tingkat kesesuaian yang sangat baik terhadap larutan standar yang digunakan. Pada larutan standar 500 ppm, Sensor TDS menghasilkan rata-rata pembacaan sebesar 490,7 ppm dibandingkan nilai referensi 500 ppm dengan galat relatif rata-rata sebesar 1,86%. Pada larutan standar 1000 ppm, Sensor TDS menghasilkan rata-rata pembacaan sebesar 989 ppm dengan galat relatif rata-rata sebesar 1,10%. Sedangkan pada larutan standar 1382 ppm, Sensor TDS menghasilkan rata-rata pembacaan sebesar 1341,1 ppm dengan galat relatif rata-rata sebesar 2,96%.

Selain memiliki nilai galat yang rendah, Sensor TDS juga menunjukkan kestabilan pembacaan yang baik dengan standar deviasi masing-masing sebesar 3,80 ppm, 6,16 ppm, dan 9,50 ppm pada setiap rentang pengukuran. Nilai galat relatif yang berada di bawah 3% menunjukkan bahwa Sensor TDS memiliki tingkat akurasi yang sangat baik dalam mengukur konsentrasi zat terlarut dalam air. Hasil pengujian yang konsisten pada seluruh rentang pengukuran mengindikasikan bahwa proses kalibrasi sensor telah berjalan

dengan baik sehingga sensor dapat digunakan sebagai instrumen monitoring kualitas nutrisi pada sistem hidroponik dengan tingkat keandalan yang tinggi.

3. Sensor DHT11 (Suhu Udara)

Sensor DHT11 menunjukkan performa yang baik dalam pengukuran suhu udara pada berbagai kondisi lingkungan. Pada pengujian di dalam laboratorium dengan suhu referensi sebesar $24,4^{\circ}\text{C}$, Sensor DHT11 menghasilkan rata-rata pembacaan sebesar $24,92^{\circ}\text{C}$ dengan galat relatif rata-rata sebesar 2,13% dan standar deviasi sebesar $0,204^{\circ}\text{C}$. Pada pengujian di luar laboratorium dengan suhu referensi sebesar 25°C , Sensor DHT11 menghasilkan rata-rata pembacaan sebesar $25,66^{\circ}\text{C}$ dengan galat relatif rata-rata sebesar 2,64% dan standar deviasi sebesar $0,165^{\circ}\text{C}$. Sementara itu, pada pengujian di luar gedung dengan suhu referensi sebesar 28°C , Sensor DHT11 menghasilkan rata-rata pembacaan sebesar $28,25^{\circ}\text{C}$ dengan galat relatif rata-rata sebesar 0,89% dan standar deviasi sebesar $0,272^{\circ}\text{C}$.

Nilai galat relatif yang rendah menunjukkan bahwa Sensor DHT11 mampu mempertahankan tingkat akurasi yang baik meskipun digunakan pada kondisi lingkungan yang berbeda. Nilai standar deviasi yang kecil juga menunjukkan bahwa sensor memiliki kestabilan pembacaan yang baik selama proses pengujian berlangsung. Kestabilan terbaik ditunjukkan pada pengujian di luar laboratorium dengan standar deviasi sebesar $0,165^{\circ}\text{C}$, sedangkan variasi pembacaan terbesar terjadi pada pengujian di luar gedung akibat pengaruh kondisi lingkungan yang lebih dinamis. Secara keseluruhan, Sensor DHT11 layak digunakan sebagai sensor pemantauan suhu udara pada sistem hidroponik berbasis IoT yang dikembangkan.

4. Sensor DS18B20 (Suhu Air)

Sensor DS18B20 menunjukkan performa yang sangat baik dalam pengukuran suhu air pada berbagai kondisi pengujian. Pada pengujian menggunakan air PAM, Sensor DS18B20 menghasilkan rata-rata pembacaan sebesar $23,58^{\circ}\text{C}$ dibandingkan suhu referensi sebesar $23,27^{\circ}\text{C}$, dengan galat relatif rata-rata sebesar 1,34% dan standar deviasi sebesar $0,060^{\circ}\text{C}$. Pada pengujian menggunakan air hangat, Sensor DS18B20 menghasilkan rata-rata pembacaan sebesar $43,48^{\circ}\text{C}$ dibandingkan suhu referensi sebesar $43,82^{\circ}\text{C}$, dengan galat relatif rata-rata sebesar 0,78% dan standar deviasi sebesar $2,982^{\circ}\text{C}$. Sedangkan pada pengujian menggunakan air dingin, Sensor DS18B20 menghasilkan rata-rata pembacaan sebesar $6,70^{\circ}\text{C}$ dibandingkan suhu referensi sebesar $3,88^{\circ}\text{C}$, dengan galat relatif rata-rata sebesar 72,78% dan standar deviasi sebesar $8,258^{\circ}\text{C}$.

Berdasarkan hasil pengujian, Sensor DS18B20 menunjukkan tingkat akurasi yang sangat baik pada pengukuran suhu air normal dan suhu air hangat dengan nilai galat relatif di bawah 2%. Nilai standar deviasi yang sangat kecil pada pengujian air PAM menunjukkan bahwa sensor memiliki tingkat presisi yang sangat baik pada rentang suhu tersebut. Namun pada pengujian air dingin terjadi perbedaan pembacaan yang cukup besar antara sensor dan nilai referensi, yang ditunjukkan oleh galat relatif serta standar deviasi yang tinggi. Kondisi ini mengindikasikan adanya ketidakstabilan pembacaan sensor pada suhu rendah atau kemungkinan adanya faktor lingkungan yang memengaruhi proses pengukuran. Meskipun demikian, secara keseluruhan Sensor DS18B20 tetap menunjukkan performa yang

sangat baik dan menjadi salah satu sensor yang paling andal dalam sistem monitoring hidroponik berbasis IoT yang dikembangkan.

4.2.4 Pengujian *Software*

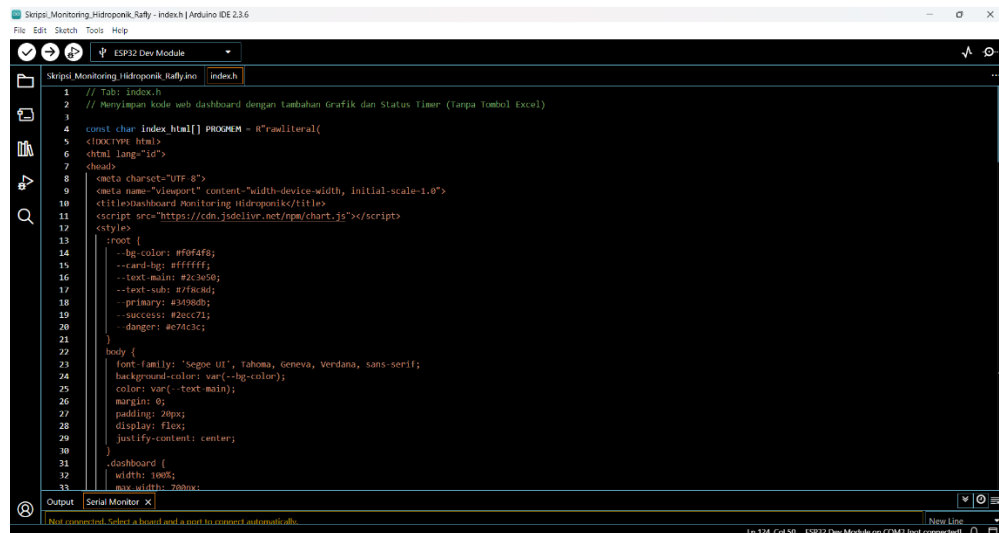
Pengujian *software* dilakukan untuk memastikan bahwa sistem monitoring berbasis web yang dibuat menggunakan bahasa pemrograman HTML dapat berjalan dengan baik sesuai fungsi yang telah dirancang. *Software* berfungsi sebagai antarmuka SCADA berbasis *web server* lokal yang terhubung dengan ESP32 melalui jaringan WiFi. Pengujian dilakukan menggunakan *browser* pada laptop dan *smartphone* untuk mengetahui kemampuan sistem dalam menampilkan data sensor secara *real-time*.

Pengujian koneksi *web server* dilakukan dengan menghubungkan perangkat ke jaringan WiFi ESP32 kemudian mengakses alamat IP sistem melalui *browser*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *dashboard* monitoring berhasil ditampilkan dengan baik dan koneksi sistem dapat berjalan secara stabil tanpa memerlukan aplikasi tambahan.



Gambar 4. 10 Tampilan Dashboard Web Server

Selain pengujian tampilan *dashboard*, dilakukan juga pengujian terhadap kode program HTML yang digunakan untuk membuat *dashboard* monitoring berbasis web. Kode program tersebut digunakan untuk menampilkan data sensor, grafik monitoring, status aktuator, dan pembaruan data secara *real-time* melalui *browser* menggunakan jaringan WiFi lokal.



```

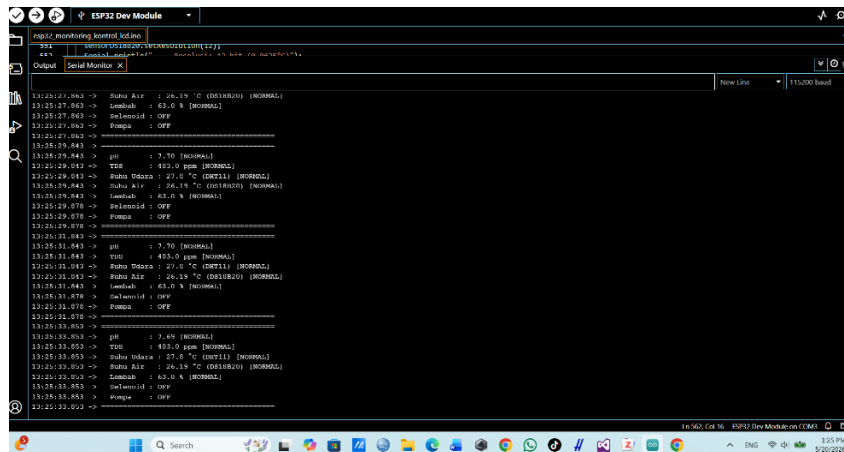
1 // Tab: index.h
2 // Menyimpan kode web dashboard dengan tambahan Grafik dan Status Timer (Tanpa Tombol Excel)
3
4 const char index_html[] PROGMEM = R"rawliteral(
5 <!DOCTYPE html>
6 <html lang="id">
7 <head>
8 <meta charset="UTF-8">
9 <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
10 <title>Dashboard Monitoring Hidroponik</title>
11 <script src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/chart.js"></script>
12 <style>
13 :root {
14   --bg-color: #f0f4f8;
15   --card-bg: #ffffff;
16   --text-main: #2c3e50;
17   --text-sub: #7f9c9d;
18   --primary: #3498db;
19   --success: #2ecc71;
20   --danger: #e74c3c;
21 }
22 body {
23   font-family: 'Segoe UI', Tahoma, Geneva, Verdana, sans-serif;
24   background-color: var(--bg-color);
25   color: var(--text-main);
26   margin: 0;
27   padding: 20px;
28   display: flex;
29   justify-content: center;
30 }
31 .dashboard {
32   width: 100%;
33   max-width: 700px;

```

Gambar 4. 11 Potongan Kode Program HTML *Dashboard*

Pengujian monitoring data sensor dilakukan untuk mengetahui kemampuan *software* dalam menampilkan data sensor secara *real-time*. *Dashboard* menampilkan data pH, TDS, suhu udara, kelembaban, suhu air nutrisi, grafik monitoring, status aktuator, serta status perekaman data dalam satu tampilan *dashboard*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh data berhasil ditampilkan dan diperbarui secara otomatis sesuai data yang dikirim oleh ESP32 melalui jaringan WiFi.

Selain ditampilkan pada *dashboard* web, data sensor juga berhasil ditampilkan pada Serial Monitor Arduino IDE sebagai proses pengiriman data dari ESP32 menuju *web server* monitoring. Data yang muncul pada Serial Monitor menunjukkan bahwa proses pembacaan sensor dan pengiriman data berjalan dengan baik secara *real-time*.



Gambar 4. 12 Tampilan Menu Pengambilan Data

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, *software* SCADA berbasis HTML berhasil menjalankan fungsi monitoring sistem hidroponik secara *real-time*. *Dashboard* mampu menampilkan data sensor, grafik monitoring, status aktuator, dan status perekaman data dengan baik melalui jaringan WiFi lokal menggunakan ESP32.

4.3 Pembahasan

Tahap pembahasan ini merupakan inti dari penelitian, di mana dilakukan analisis kuantitatif secara mendalam untuk mengevaluasi kinerja sistem hidroponik berbasis *Supervisory Control and Data acquisition* (SCADA) yang telah dikembangkan. Evaluasi dilakukan untuk memastikan bahwa sistem mampu melakukan monitoring parameter hidroponik secara *real time* dengan tingkat akurasi, kestabilan, dan keandalan yang baik sesuai tujuan penelitian. Dalam konteks penelitian ini, validasi dilakukan melalui analisis komparatif terhadap hasil pembacaan sensor dengan alat ukur validator pada parameter tingkat keasaman (pH), *Total Dissolved Solids* (TDS), suhu ruangan (DHT11), dan suhu larutan nutrisi (DS18B20). Sesuai pada gambar 4.10 dimana monitoring di *greenhouse* bisa lebih efektif karena dihubungankan dengan IoT sehingga bisa dipantau di device

handphone dan laptop dimana ini menjawab penelitian (Arif Supriyanto & Fathurrahmani, 2019). Yang masih belum mampu memantau secara jarak jauh.

Pengujian dilakukan menggunakan larutan kalibrasi standar yang berbeda (larutan buffer pH, larutan standar TDS, rentang suhu udara, serta rentang suhu air) untuk mengetahui konsistensi performa sensor pada kondisi karakteristik lingkungan yang bervariasi. Seluruh data statistik yang menjadi dasar analisis meliputi nilai rata-rata, persentase galat (*error*), dan standar deviasi yang dirangkum secara sistematis pada tabel hasil pengujian. Data tersebut digunakan untuk mengevaluasi tingkat akurasi dan presisi sistem monitoring SCADA yang dikembangkan.

Tabel 4. 13 Hasil Data dan *Error*

Parameter	Validator	Sensor	<i>Error</i> (%)	Standar Deviasi
pH 4,01	4,01	4,10	3,54	0,153
pH 6,86	6,86	7,05	2,78	0,013
pH 9,18	9,18	9,61	4,64	0,153
TDS 500 ppm	500	490,7	1,86	3,80
TDS 1000 ppm	1000	989	1,10	6,16
TDS 1382 ppm	1382	1341,1	2,96	9,50
DHT11 Laboratorium	24,4	24,92	2,32	0,204
DHT11 Dalam Gedung	25	25,66	2,64	0,165
DHT11 Luar Ruangan	28	28,25	0,89	0,272
DS18B20 Air PAM	23,27	23,58	1,34	0,060
DS18B20 Air Hangat	43,82	43,48	0,90	2,982
DS18B20 Air Dingin	3,88	6,704	0,99	2.923

Evaluasi akurasi menunjukkan bahwa sebagian besar sensor memiliki tingkat kesesuaian yang baik terhadap alat validator. Pada sensor pH, diperoleh hasil pembacaan yang relatif mendekati alat ukur standar. Berdasarkan Tabel 4.13, pada pengujian larutan kalibrasi standar pH 4,01 diperoleh rata-rata pembacaan sensor sebesar 4,10 dibandingkan validator sebesar 4,01 dengan selisih *error* sebesar 3,54% dan standar deviasi sebesar 0,153. Pada pengujian pH 6,86 diperoleh rata-rata pembacaan sensor sebesar 7,05 dibandingkan validator sebesar 6,86 dengan

error sebesar 2,78% dan standar deviasi sebesar 0,013. Sedangkan pada pengujian pH 9,18 diperoleh rata-rata pembacaan sensor sebesar 9,61 dibandingkan validator sebesar 9,18 dengan *error* sebesar 4,64% dan standar deviasi sebesar 0,153. Tingkat kesesuaian tersebut menunjukkan bahwa sensor pH mampu melakukan monitoring tingkat keasaman larutan nutrisi dengan cukup baik untuk kebutuhan sistem hidroponik berbasis SCADA karena seluruh nilai galat berada di bawah ambang batas toleransi ($< 5\%$). Perbedaan pembacaan yang terjadi kemungkinan dipengaruhi oleh proses kalibrasi sensor serta kandungan ion dalam larutan yang memengaruhi sensitivitas elektroda sensor pH. Ini menjawab dari penelitian terdahulu, di mana pemantauan greenhouse yang masih dilakukan secara manual (Aisyah & Harmadi, 2024).

Berdasarkan datasheet (DFRobot, 2021). Gravity Analog pH Sensor V2, sensor pH yang digunakan pada penelitian ini memiliki rentang pengukuran pH 0–14 dengan tingkat akurasi sekitar $\pm 0,1$ pH pada suhu 25°C setelah dilakukan proses kalibrasi. Sensor bekerja menggunakan elektroda kaca yang mendeteksi perubahan konsentrasi ion hidrogen (H^+) dalam larutan dan mengubahnya menjadi sinyal analog yang selanjutnya diproses oleh mikrokontroler ESP32. Oleh karena itu, proses kalibrasi menggunakan larutan buffer pH 4,00, pH 7,00, dan pH 10,00 menjadi faktor penting untuk memperoleh hasil pengukuran yang akurat.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian (Wahyu S J Saputra & Faisal Muttaqin, 2021) yang menjelaskan bahwa sensor pH analog mampu menghasilkan pembacaan yang stabil setelah dilakukan kalibrasi secara berkala. Perbedaan nilai pembacaan terhadap alat validator umumnya dipengaruhi oleh umur elektroda,

suhu larutan, kualitas larutan buffer, serta gangguan sinyal analog pada proses akuisisi data. Dengan demikian, hasil pengujian sensor pH pada penelitian ini masih sesuai dengan karakteristik teknis sensor berdasarkan datasheet maupun penelitian terdahulu.

Pada sensor TDS diperoleh hasil pembacaan yang menunjukkan tingkat akurasi yang sangat baik dengan selisih rata-rata yang relatif kecil terhadap alat validator. Pada pengujian larutan standar TDS 500 ppm diperoleh rata-rata pembacaan sensor sebesar 490,7 dengan *error* sebesar 1,86% dan standar deviasi sebesar 3,80. Pada pengujian TDS 1000 ppm diperoleh rata-rata pembacaan sensor sebesar 989 dengan tingkat *error* terendah yaitu sebesar 1,10% dan standar deviasi sebesar 6,16. Sedangkan pada pengujian TDS 1382 ppm diperoleh rata-rata pembacaan sensor sebesar 1341,1 dengan *error* sebesar 2,96% dan standar deviasi sebesar 9,50. Nilai *error* yang konsisten berada di bawah 3% menunjukkan bahwa sistem monitoring kepekatan nutrisi memiliki performa dan akurasi yang sangat tinggi. Pola pembacaan sensor juga menunjukkan hasil yang stabil dan konsisten selama pengujian berlangsung, sehingga sensor TDS ini sangat layak dan andal digunakan sebagai sistem monitoring pada hidroponik *greenhouse*.

Berdasarkan datasheet (DFRobot, 2021). Gravity Analog TDS Sensor, sensor bekerja berdasarkan prinsip *Electrical Conductivity* (EC), yaitu mengukur kemampuan larutan dalam menghantarkan arus listrik yang kemudian dikonversi menjadi nilai Total Dissolved Solids (TDS) dalam satuan ppm. Sensor telah dilengkapi dengan kompensasi suhu sehingga perubahan temperatur larutan tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap hasil pembacaan apabila proses kalibrasi dilakukan dengan benar.

Berdasarkan hasil pengujian, sensor TDS mampu menghasilkan nilai pembacaan yang mendekati alat validator dengan nilai galat yang relatif kecil. Nilai galat terbesar diperoleh pada konsentrasi nutrisi yang tinggi karena peningkatan jumlah ion terlarut menyebabkan perubahan konduktivitas menjadi lebih sensitif terhadap perubahan temperatur. Temuan ini sejalan dengan penelitian mengenai sistem monitoring hidroponik berbasis *Internet of Things* yang menyatakan bahwa sensor TDS memiliki tingkat akurasi yang baik apabila dilakukan kalibrasi secara berkala.

Sensor suhu DHT11 menunjukkan performa yang sangat baik dalam memonitor parameter mikroklimat udara. Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium, diperoleh rata-rata pembacaan sensor sebesar 24,92 °C dibandingkan validator sebesar 24,4 °C dengan *error* sebesar 2,32% dan standar deviasi sebesar 0,204. Pada pengujian di dalam gedung, diperoleh rata-rata pembacaan sensor sebesar 25,66 °C dibandingkan validator sebesar 25 °C dengan *error* sebesar 2,64% dan standar deviasi sebesar 0,165. Sedangkan pada pengujian luar ruangan diperoleh hasil akurasi tertinggi dengan rata-rata pembacaan sensor sebesar 28,25 °C dibandingkan validator sebesar 28 °C dengan *error* hanya sebesar 0,89% dan standar deviasi sebesar 0,272. Standar deviasi yang relatif kecil menunjukkan bahwa sensor memiliki kestabilan pembacaan yang baik dalam melakukan monitoring suhu ruangan *greenhouse* secara *real-time*.

Berdasarkan datasheet (Aosong, 2020). DHT11, sensor memiliki rentang pengukuran suhu 0–50°C dengan akurasi $\pm 2^{\circ}\text{C}$ serta rentang pengukuran kelembapan 20–90%RH dengan akurasi $\pm 5\%\text{RH}$. Sensor menggunakan elemen

kelembapan kapasitif dan termistor NTC sehingga mampu mengukur kondisi lingkungan secara digital dengan konsumsi daya yang rendah.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pembacaan suhu dan kelembapan memiliki tingkat kesesuaian yang baik terhadap alat validator. Perbedaan kecil yang masih muncul dipengaruhi oleh sirkulasi udara di dalam greenhouse, posisi pemasangan sensor, dan waktu respons sensor terhadap perubahan lingkungan. Hasil tersebut didukung oleh penelitian (Jumawal dkk., 2026) yang melaporkan bahwa sensor DHT11 memiliki tingkat akurasi yang memadai untuk aplikasi monitoring lingkungan berbasis mikrokontroler.

Sensor DS18B20 menunjukkan tingkat akurasi yang luar biasa dalam membaca parameter suhu larutan nutrisi. Pada pengujian menggunakan air PAM, diperoleh rata-rata pembacaan sensor sebesar 23,58 °C dibandingkan validator sebesar 23,27 °C dengan *error* sebesar 1,34% dan standar deviasi yang sangat kecil yaitu 0,060. Sementara itu, pada pengujian menggunakan air hangat diperoleh rata-rata pembacaan sensor sebesar 43,48 °C dibandingkan validator sebesar 43,82 °C dengan *error* terkecil mencapai 0,90% dan standar deviasi sebesar 2,982. Selanjutnya, pada pengujian menggunakan media air dingin diperoleh rata-rata pembacaan sensor sebesar 6,704 °C dibandingkan alat validator sebesar 3,88 °C dengan persentase galat (*error*) yang sangat rendah yaitu sebesar 0,99% serta nilai standar deviasi sebesar 2.923. Nilai galat yang rendah serta standar deviasi yang kecil membuktikan bahwa sensor DS18B20 memiliki tingkat presisi dan akurasi yang tinggi serta mampu menghasilkan data yang stabil selama sistem SCADA beroperasi.

Berdasarkan datasheet (Maxim, 2019). Integrated DS18B20, sensor memiliki rentang pengukuran suhu -55°C hingga 125°C dengan tingkat akurasi $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ pada rentang -10°C hingga 85°C . Sensor menggunakan komunikasi digital One-Wire sehingga lebih tahan terhadap gangguan sinyal dibandingkan sensor analog dan mampu menghasilkan pembacaan suhu dengan resolusi hingga 12-bit.

Berdasarkan hasil pengujian, sensor DS18B20 menunjukkan nilai galat dan standar deviasi yang relatif kecil sehingga memiliki tingkat akurasi dan presisi yang baik. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian (Jumawal dkk., 2026) yang menyatakan bahwa sensor DS18B20 memiliki tingkat akurasi lebih tinggi dibandingkan DHT11 karena menggunakan sistem pengukuran digital.

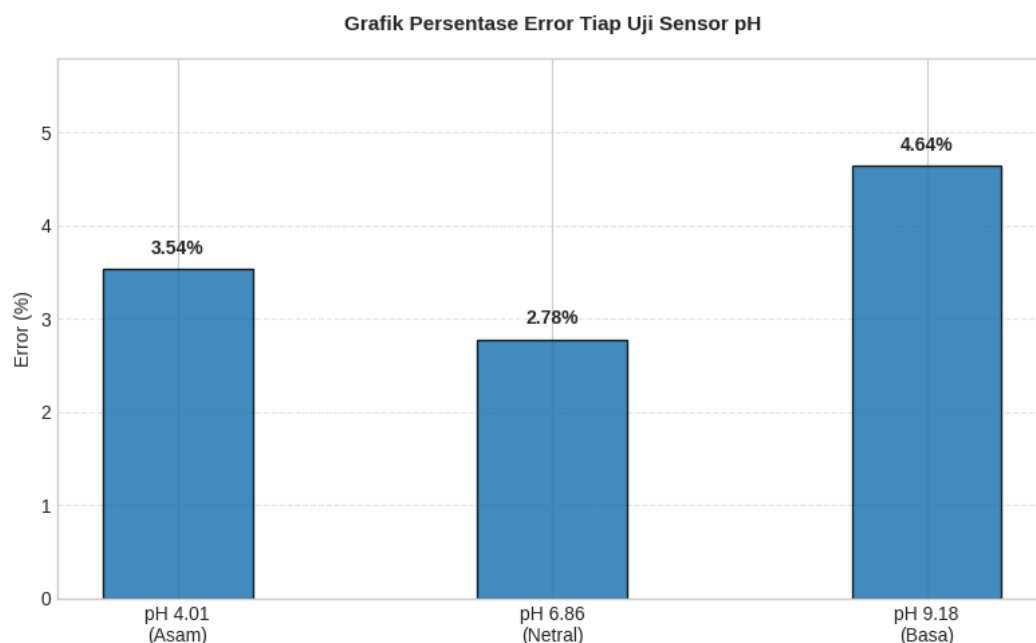
Karakteristik fisis dan kimia dari pengujian sirkuit SCADA ini dapat dikaji lebih mendalam melalui analisis spesifikasi material penyusun elektroda serta sensitivitas transducer yang digunakan. Pada sensor pH, komponen utamanya menggunakan membran kaca tipis (*glass electrode*) yang sangat selektif dan sensitif terhadap aktivitas ion hidrogen (H^{+}) dalam larutan nutrisi. Ketika elektroda kaca ini dicelupkan ke dalam media hidroponik, terjadi pertukaran ion antara lapisan gel terhidrasi pada permukaan kaca dengan ion hidrogen di dalam larutan, sehingga memicu timbulnya potensial elektrokimia fisis. Perbedaan potensial elektrokimia antara elektroda pengukur dan elektroda referensi internal (berbasis material perak/perak klorida atau (Ag/AgCl)) dihitung secara presisi berdasarkan persamaan Nernst (Jeong dkk., 2022). Nilai tegangan analog yang sangat kecil ini kemudian diperkuat oleh pengolah sinyal untuk dikonversi menjadi data keasaman digital pada *dashboard* SCADA. Sementara itu, sensor TDS (*Total Dissolved Solids*) bekerja menggunakan metode konduktivitas listrik (*electrical conductivity*) melalui

dua pin elektroda berbahan *stainless steel* tahan karat. Dua probe logam ini dialiri arus bolak-balik (AC) berfrekuensi tinggi untuk mengukur kapasitas larutan dalam menghantarkan muatan listrik. Kepadatan mobilitas muatan dari ion-ion mineral esensial tanaman hidroponik (seperti K^+ , Ca^{2+} , dan NO_3^-) di antara pin silinder *stainless steel* tersebut berbanding lurus dengan nilai konduktivitas yang dihasilkan, yang kemudian dipetakan secara matematis menjadi konsentrasi zat padat terlarut dalam satuan part per million atau ppm (Sambo et al., 2019).

Untuk pemantauan parameter fisis mikroklimat lingkungan dan suhu fluida cair, sirkuit SCADA mengintegrasikan material semikonduktor *solid-state* yang mengandalkan sifat termal bahan. Sensor DHT11 menggunakan komponen sensor kelembapan tipe resistif polimer yang disandingkan dengan sebuah termistor tipe *Negative Temperature Coefficient* (NTC) berbasis material keramik semikonduktor. Sifat dasar material keramik semikonduktor ini memiliki sensitivitas termal yang khas, di mana nilai hambatan listrik (resistansi) material polimer dan termistor akan menurun secara eksponensial seiring dengan terjadinya kenaikan suhu udara akibat peningkatan energi kinetik elektron yang melompati pita energi (*bandgap*), sehingga sangat peka dalam melacak fluktuasi iklim mikro udara di dalam *greenhouse* (Arif Supriyanto & Fathurrahmani, 2019). Di sisi lain, pengukuran suhu air nutrisi pada tiga titik ekstrim (PAM, hangat, dan dingin) dieksekusi oleh sensor DS18B20 yang memiliki durabilitas tinggi karena seluruh sirkuitnya terbungkus di dalam tabung probe logam baja nirnoda (*stainless steel*) tahan air.

Secara internal, sensor DS18B20 tidak lagi menggunakan komponen analog konvensional, melainkan menggunakan arsitektur silikon terintegrasi (*integrated*

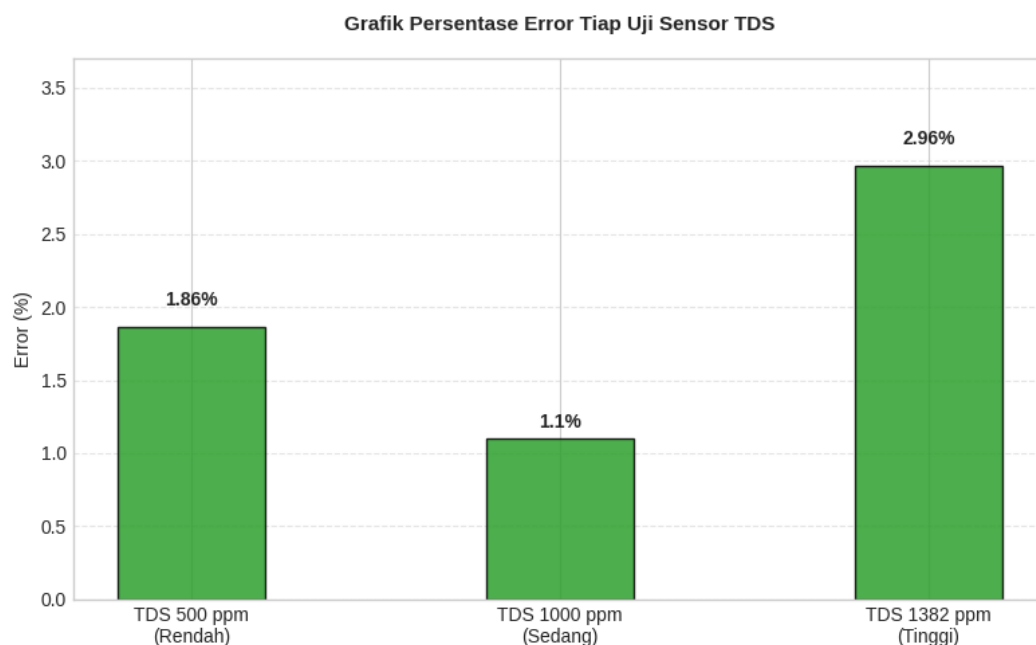
circuit atau IC termometer digital) dengan memanfaatkan prinsip *silicon bandgap temperature sensor*. Mekanisme pengukuran didasarkan pada karakteristik fisik *p-n junction* dioda silikon, di mana penurunan tegangan arah maju (*forward voltage drop*) dari dioda semikonduktor tersebut memiliki ketergantungan yang linier terhadap perubahan suhu operasional. Sinyal perubahan tegangan pita energi silikon tersebut diproses langsung di dalam chip oleh konverter analog-ke-digital (ADC) internal dengan resolusi tinggi mencapai 12-bit, lalu ditransmisikan menggunakan protokol komunikasi 1-Wire menuju ESP32 untuk menjamin data suhu fluida yang dikirimkan ke pusat pengawasan SCADA tetap presisi, minim gangguan derau (*noise*), dan memiliki kestabilan yang konsisten (Baumann dkk., 2017).



Gambar 4. 13 Grafik Persentase *Error* Tiap Uji Sensor pH

Berdasarkan Gambar 4.13, visualisasi grafik batang menunjukkan distribusi nilai persentase galat (*error*) dari hasil pengujian sensor pH pada tiga kondisi larutan *buffer* acuan yang berbeda. Tingkat galat minimum diperoleh pada kondisi

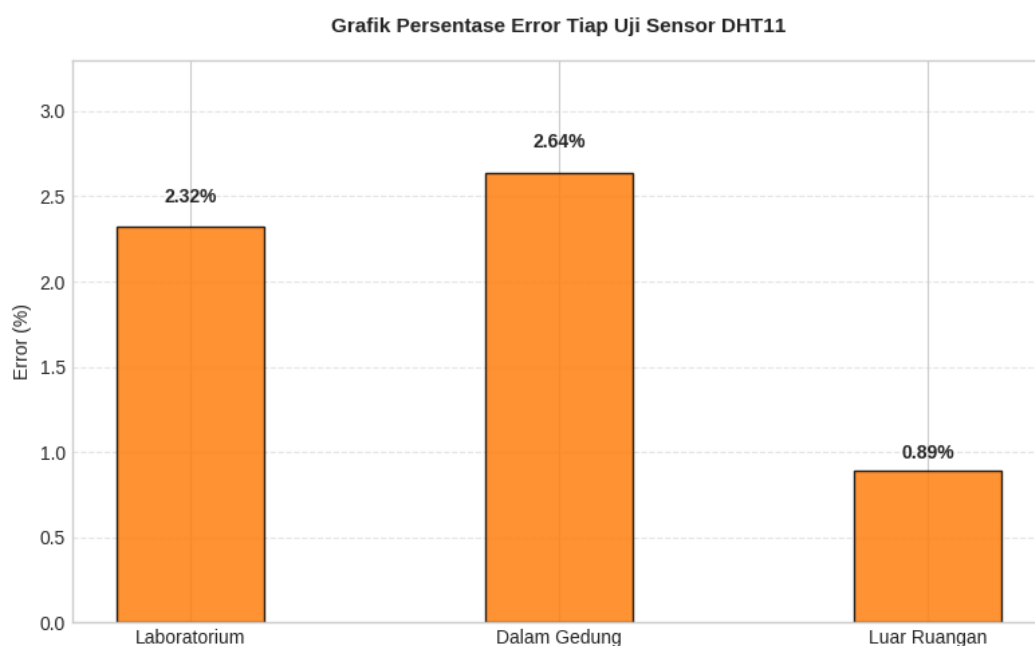
larutan netral (pH 6,86) yaitu sebesar 2,78%, diikuti oleh kondisi larutan asam (pH 4,01) sebesar 3,54%. Sementara itu, persentase galat tertinggi tercatat pada kondisi larutan basa (pH 9,18) dengan nilai sebesar 4,64%. Kenaikan nilai grafik yang linear ini mengindikasikan adanya pengaruh peningkatan konsentrasi ion hidroksida (OH^-) terhadap sensitivitas lapisan membran kaca elektroda sensor saat berada di lingkungan basa, yang memicu sedikit lonjakan deviasi pembacaan. Namun demikian, secara keseluruhan instrumen sensor pH ini dinyatakan sangat layak dan memenuhi standar kelayakan fungsional SCADA karena seluruh akumulasi galat berada konsisten di bawah ambang batas toleransi mutlak sistem monitoring hidroponik, yaitu sebesar $<5\%$.



Gambar 4. 14 Grafik Persentase *Error* Tiap Uji Sensor TDS

Berdasarkan Gambar 4.14, visualisasi grafik batang memaparkan persentase galat (*error*) hasil pengujian akurasi sensor TDS (*Total Dissolved Solids*) pada variasi kerapatan sampel larutan nutrisi. Sensor mencatatkan performa akurasi paling optimal pada pengujian konsentrasi nutrisi tingkat sedang (1000 ppm)

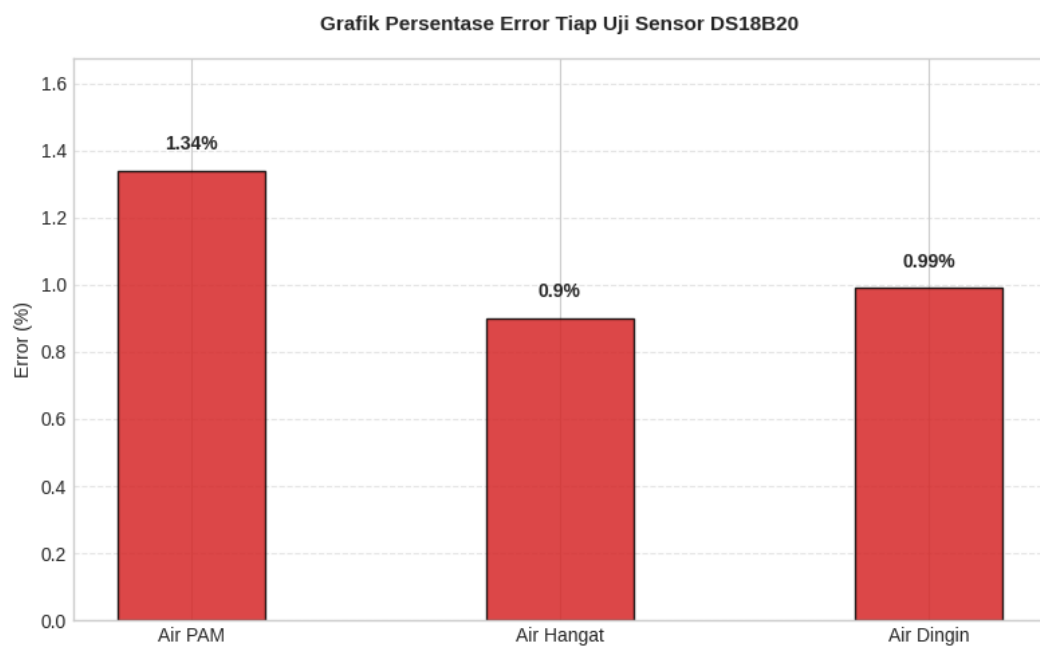
dengan nilai *error* minimal sebesar 1,10%. Pada pengujian konsentrasi rendah (500 ppm), nilai *error* yang dihasilkan adalah sebesar 1,86%, dan pada konsentrasi pekat atau tinggi (1382 ppm) galat mengalami sedikit kenaikan menuju angka 2,96%. Pola grafik ini membuktikan keandalan yang tinggi dari konfigurasi parameter kurva kalibrasi konduktivitas listrik yang telah ditanamkan pada mikrokontroler. Tidak ditemukannya lonjakan galat yang masif pada larutan pekat—yang umumnya menjadi kelemahan sensor TDS komersial akibat saturasi ion—membuktikan bahwa sensor ini memiliki tingkat linearitas dan akurasi yang sangat baik untuk mengawasi kepekatan nutrisi hidroponik tanaman secara *real-time*.



Gambar 4. 15 Grafik Persentase Error Tiap Uji Sensor DHT11

Melalui Gambar 4.15, disajikan grafik batang persentase galat (*error*) dari pengujian sensor suhu udara DHT11 di tiga zonasi iklim mikro lingkungan dengan karakteristik termal yang fluktuatif. Tingkat performa akurasi tertinggi ditunjukkan secara signifikan pada pengujian di area Luar Ruangan (suhu lingkungan lebih hangat), di mana nilai galat jatuh menyentuh angka minimum yaitu sebesar 0,89%.

Sementara itu, pada pengujian di lingkungan ruang Laboratorium dan area Dalam Gedung, instrumen masing-masing mencatatkan nilai *error* sebesar 2,32% dan 2,64%. Kestabilan visualisasi grafik ini membuktikan bahwa sensor DHT11 memiliki ketahanan pembacaan yang baik terhadap interferensi suhu makro di sekitar lingkungan penempatan. Dengan deviasi galat rata-rata yang konsisten berada di kisaran 1% hingga 2,6%, instrumen DHT11 divalidasi handal untuk diimplementasikan sebagai unit monitoring suhu udara pada struktur *greenhouse*.



Gambar 4. 16 Persentase *Error* Tiap Uji Sensor DS18B20

Berdasarkan Gambar 4.16, visualisasi grafik batang memperlihatkan tingkat efisiensi akurasi yang sangat impresif dan stabil dari sensor suhu cairan DS18B20 pada berbagai tingkat ekstrem termal media air. Nilai galat terkecil (performa puncak) berhasil dicapai pada pengujian media air hangat dengan persentase *error* hanya sebesar 0,90%, disusul secara ketat oleh hasil pengujian pada media air dingin dengan nilai *error* sebesar 0,99%. Sementara itu, nilai galat pada kondisi temperatur normal melalui media air PAM mencatatkan angka sebesar 1,34%.

Karakteristik grafik yang konstan berada di bawah rentang 1,5% pada seluruh spektrum suhu pengujian ini membuktikan keunggulan fisis material selubung baja tahan karat (*stainless steel*) pada sensor DS18B20 dalam menghantarkan panas secara presisi ke elemen sensor internal. Dengan demikian, sensor ini memiliki keandalan fungsional tingkat tinggi untuk diaplikasikan langsung pada penanganan monitoring suhu larutan nutrisi hidroponik.

Implikasi dari hasil validasi seluruh parameter sensor dalam sistem SCADA ini memiliki signifikansi yang besar bagi pengembangan instrumentasi pertanian modern, mengingat keberhasilan pengujian simultan pada sensor pH, TDS, suhu udara (DHT11), dan suhu cairan (DS18B20) terbukti mampu mempertahankan integritas akuisisi data secara *real-time* dengan nilai galat yang sangat minimal dan berada di bawah batas toleransi ilmiah (akumulasi *error* 5%). Keberhasilan performa multi-sensor ini memberikan kontribusi taktis berupa ketersediaan teknologi pemantauan *greenhouse* yang presisi namun tetap ekonomis, sehingga sangat potensial untuk diaplikasikan pada sektor budidaya hidroponik skala kecil hingga menengah (UMKM) yang umumnya memiliki keterbatasan biaya operasional. Meskipun demikian, validasi kuantitatif dalam penelitian ini masih memiliki keterbatasan ruang lingkup fungsional, di mana pengujian elektrokimia sensor pH dan TDS baru dievaluasi pada tiga titik konsentrasi larutan standar, serta pemantauan mikroklimat oleh sensor DHT11 dan DS18B20 masih terbatas pada karakteristik fluktuasi lingkungan lokal yang terjadwal. Oleh karena itu, guna memperkuat keandalan sistem kontrol, penelitian lanjutan sangat direkomendasikan untuk menguji linieritas pembacaan keempat sensor pada rentang parameter fisis yang jauh lebih luas dan ekstrem, sekaligus mengevaluasi

durabilitas (*lifespan*) elektroda serta analisis pergeseran nilai (*drift analysis*) komponen sirkuit SCADA dalam jangka panjang terhadap paparan kelembapan tinggi dan sifat korosif cairan nutrisi di dalam lingkungan *greenhouse* yang sesungguhnya.

4.3.1 Keterkaitan Hasil Penelitian dalam Prespektif Islam

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem hidroponik berbasis *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) yang dikembangkan mampu melakukan monitoring dan pengendalian parameter hidroponik secara *real-time* melalui integrasi sensor pH, sensor TDS, sensor DHT11, sensor DS18B20, mikrokontroler ESP32, serta antarmuka monitoring berbasis web. Sistem yang dirancang memungkinkan pengguna memperoleh informasi kondisi *greenhouse* secara cepat dan akurat sehingga proses budidaya tanaman dapat dilakukan dengan lebih efektif dan efisien. Keberhasilan integrasi berbagai sensor dalam satu sistem terpusat menunjukkan bahwa ilmu pengetahuan dan teknologi dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan solusi yang memberikan kemudahan dalam kehidupan manusia. Hal tersebut sejalan dengan ajaran Islam yang mendorong umatnya untuk menuntut ilmu dan memanfaatkan pengetahuan demi kemaslahatan bersama. Allah Swt. berfirman dalam Q.S. Az-Zumar ayat 9:

أَمْ مَنْ هُوَ قَانِتٌ آتَاءَ اللَّيْلِ سَاجِدًا وَقَائِمًا يَحْذَرُ الْآخِرَةَ وَيَرْجُو رَحْمَةً رَبِّهِ ۖ قُلْ هَلْ يَسْتَوِي
الَّذِينَ يَعْلَمُونَ وَالَّذِينَ لَا يَعْلَمُونَ ۚ إِنَّمَا يَتَذَكَّرُ أُولُو الْأَلْبَابِ

Artinya: "Apakah (kamu hendak menyamakan) orang yang beribadah pada waktu malam dengan sujud dan berdiri, karena takut kepada (azab) akhirat dan mengharapkan rahmat Tuhannya? Katakanlah, 'Apakah sama orang-orang yang mengetahui dengan orang-orang yang tidak mengetahui?' Sebenarnya hanya orang yang berakal sehat yang dapat menerima pelajaran." (Q.S. Az-Zumar: 9).

Menurut M. Quraish Shihab dalam Tafsir Al-Misbah, orang yang berilmu memiliki kedudukan yang lebih tinggi karena mampu memanfaatkan pengetahuannya untuk memberikan manfaat bagi kehidupan. Konsep *ulul albab* dalam ayat tersebut menggambarkan manusia yang tidak hanya memiliki ilmu pengetahuan, tetapi juga mampu menggunakan akalnya untuk menghasilkan solusi yang bermanfaat bagi masyarakat (Shihab, 2002). Dalam penelitian ini, pemanfaatan ilmu pengetahuan diwujudkan melalui pengembangan sistem monitoring dan kontrol hidroponik berbasis SCADA yang mampu memberikan informasi kondisi *greenhouse* secara *real-time*. Dengan demikian, penelitian ini merupakan salah satu bentuk implementasi ilmu pengetahuan yang memberikan manfaat dalam bidang pertanian modern.

Selain mencerminkan pemanfaatan ilmu pengetahuan, penelitian ini juga menunjukkan pentingnya pengelolaan sumber daya secara efisien. Sistem monitoring yang dikembangkan memungkinkan pengguna melakukan pengawasan kondisi nutrisi, pH, suhu, dan kelembaban secara tepat sehingga penggunaan air, larutan nutrisi, dan energi dapat dilakukan secara lebih optimal. Hal tersebut selaras dengan ajaran Islam yang melarang pemborosan dalam penggunaan sumber daya. Allah Swt. berfirman dalam Q.S. Al-Isra ayat 26:

وَأَتِ ذَا الْقُرْبَىٰ حَقَّهُ وَالْمِسْكِينَ وَابْنَ السَّبِيلِ وَلَا تُبَذِّرْ تَبْذِيرًا

Artinya: "Dan berikanlah kepada keluarga-keluarga yang dekat akan haknya, kepada orang miskin dan orang yang dalam perjalanan; dan janganlah kamu menghambur-hamburkan (hartamu) secara boros." (Q.S. Al-Isra: 26).

Dalam Tafsir Ibnu Katsir dijelaskan bahwa *tabdzir* merupakan penggunaan harta dan sumber daya secara berlebihan tanpa memberikan manfaat yang jelas. Allah Swt. tidak menyukai perilaku boros karena dapat

menimbulkan kerugian dan menghilangkan kebermanfaatan dari sumber daya yang dimiliki (Ismail, 2008). Dalam penelitian ini, sistem SCADA yang dikembangkan mampu membantu pengguna memberikan nutrisi sesuai kebutuhan tanaman berdasarkan data sensor yang diperoleh secara real-time. Dengan demikian, penggunaan larutan nutrisi dapat dilakukan secara lebih efisien sehingga dapat mengurangi pemborosan dan meningkatkan efektivitas pengelolaan sistem hidroponik.

Dalam perspektif Islam, perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi tidak hanya dipandang sebagai upaya untuk memperoleh pengetahuan ilmiah semata, tetapi juga sebagai sarana untuk mewujudkan kemaslahatan bagi manusia dan lingkungan. Integrasi antara sains dan nilai-nilai Islam menjadi penting agar perkembangan teknologi tetap berjalan sesuai dengan prinsip kebermanfaatan, efisiensi, dan tanggung jawab terhadap kehidupan. Salah satu pendekatan yang digunakan dalam menghubungkan perkembangan sains dengan nilai-nilai Islam adalah melalui konsep Maqashid Syariah.

Menurut Abu Ishaq Al-Syatibi dalam kitab *Al-Muwafaqat fi Ushul al-Syari'ah*, Maqashid Syariah merupakan tujuan ditetapkan hukum Islam demi mewujudkan kemaslahatan manusia di dunia dan akhirat. Al-Syatibi membagi Maqashid Syariah ke dalam lima aspek utama, yaitu menjaga agama (*hifz ad-din*), menjaga jiwa (*hifz an-nafs*), menjaga akal (*hifz al-'aql*), menjaga keturunan (*hifz an-nasl*), dan menjaga harta (*hifz al-mal*) (Al-Syatibi, 2003). Konsep tersebut menunjukkan bahwa Islam tidak hanya mengatur hubungan manusia dengan Allah Swt., tetapi juga mengatur bagaimana manusia memanfaatkan ilmu pengetahuan dan teknologi demi kemaslahatan bersama.

Penelitian mengenai sistem hidroponik berbasis SCADA untuk greenhouse memiliki keterkaitan yang kuat dengan nilai-nilai Maqashid Syariah, terutama pada aspek hifz al-'aql (menjaga akal) dan hifz al-mal (menjaga harta). Aspek hifz al-'aql tercermin dari pemanfaatan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam pengembangan sistem monitoring dan kontrol otomatis berbasis ESP32, sensor pH, sensor TDS, sensor DHT11, sensor DS18B20, serta web server. Pengembangan sistem ini merupakan bentuk pemanfaatan akal manusia yang dianugerahkan oleh Allah Swt. untuk menciptakan inovasi yang dapat memberikan manfaat bagi kehidupan, khususnya dalam bidang pertanian modern. Melalui penelitian ini, ilmu pengetahuan digunakan untuk menghasilkan solusi yang mampu meningkatkan efektivitas dan efisiensi pengelolaan *greenhouse*. Oleh karena itu, penelitian ini mencerminkan implementasi hifz al-'aql karena berkontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang bermanfaat bagi masyarakat.

Selain itu, penelitian ini juga berkaitan dengan aspek hifz al-mal (menjaga harta). Sistem yang dikembangkan mampu membantu pengguna dalam mengelola sumber daya budidaya secara lebih optimal. Monitoring kondisi pH, TDS, suhu, dan kelembaban secara *real-time* memungkinkan pengguna mengetahui kondisi *greenhouse* dengan cepat sehingga dapat mengurangi risiko kerusakan tanaman, kesalahan pemberian nutrisi, serta pemborosan penggunaan air dan larutan nutrisi. Dengan demikian, teknologi yang dikembangkan dapat membantu meminimalkan kerugian dan meningkatkan efisiensi pengelolaan budidaya hidroponik sehingga sejalan dengan prinsip Islam yang mendorong pengelolaan harta secara bijaksana dan bertanggung jawab.

Selain kedua aspek tersebut, penelitian ini juga berkaitan dengan aspek *hifz an-nasl* (menjaga keturunan). Dalam perspektif Maqashid Syariah, menjaga keturunan tidak hanya dimaknai sebagai menjaga keberlangsungan generasi manusia, tetapi juga mencakup upaya untuk menjamin tersedianya pangan yang sehat, aman, dan berkualitas bagi masyarakat. Sistem hidroponik berbasis SCADA yang dikembangkan mampu menjaga kestabilan parameter pH, TDS, suhu larutan nutrisi, dan suhu lingkungan secara *real-time* sehingga tanaman dapat tumbuh pada kondisi yang optimal. Pengelolaan budidaya yang lebih terkontrol tersebut berpotensi menghasilkan produk pertanian yang lebih berkualitas, higienis, dan aman untuk dikonsumsi. Dengan demikian, penelitian ini mendukung upaya penyediaan pangan yang sehat sebagai salah satu bentuk implementasi *hifz an-nasl* karena berkontribusi terhadap terjaganya kualitas hidup dan keberlangsungan generasi manusia (Md Dahlal & Desa, 2025).

Penelitian ini juga memiliki keterkaitan dengan aspek *hifz al-bi'ah* (menjaga lingkungan). Dalam kajian Maqashid Syariah kontemporer, menjaga lingkungan merupakan bagian dari tujuan syariat dalam mewujudkan kemaslahatan yang berkelanjutan. Islam mengajarkan bahwa manusia sebagai khalifah di bumi memiliki tanggung jawab untuk menjaga dan memanfaatkan sumber daya alam secara bijaksana tanpa menimbulkan kerusakan. Sistem SCADA yang dikembangkan mampu mengoptimalkan penggunaan air dan larutan nutrisi berdasarkan data sensor secara *real-time* sehingga penggunaan sumber daya menjadi lebih efisien dan pemborosan dapat diminimalkan. Selain itu, pengendalian otomatis mampu mengurangi limbah larutan nutrisi yang berpotensi mencemari lingkungan. Oleh karena itu, penerapan sistem hidroponik

berbasis SCADA dalam penelitian ini mencerminkan implementasi hifz al-bi'ah melalui pemanfaatan teknologi yang mendukung pelestarian lingkungan, efisiensi sumber daya, dan pembangunan pertanian yang berkelanjutan (Khuluq & Asmuni, 2025).

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa pengembangan sistem hidroponik berbasis *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) untuk *greenhouse* tidak hanya memiliki nilai ilmiah dalam bidang teknologi pertanian dan sistem kendali, tetapi juga mengandung nilai-nilai Maqashid Syariah yang berorientasi pada kemaslahatan manusia. Penelitian ini terutama termasuk dalam kategori hifz al-'aql melalui pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, hifz al-mal melalui efisiensi penggunaan nutrisi, air, dan sumber daya dalam sistem hidroponik, hifz an-nasl melalui penyediaan sistem budidaya yang mampu mendukung produksi pangan yang lebih sehat dan berkualitas bagi keberlangsungan generasi, serta hifz al-bi'ah melalui pemanfaatan teknologi yang mampu mengoptimalkan penggunaan sumber daya dan menjaga kelestarian lingkungan. Dengan demikian, integrasi antara sains dan nilai-nilai Islam dalam penelitian ini menunjukkan bahwa perkembangan teknologi modern dapat berjalan selaras dengan tujuan syariat Islam dalam mewujudkan kebermanfaatan, efisiensi, kemaslahatan, serta keberlanjutan bagi kehidupan manusia dan lingkungan.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Sistem SCADA untuk *greenhouse* hidroponik telah berhasil dirancang dan diimplementasikan dengan mengintegrasikan perangkat keras (*hardware*) berbasis mikrokontroler ESP32 dan modul ADC ADS1115 sebagai unit pengolah sinyal analog yang stabil. Di sisi perangkat lunak (*software*), antarmuka pengawasan (*supervisory interface*) berbasis HTML berhasil dikembangkan secara mandiri sebagai *web server* lokal yang dapat diakses secara responsif melalui jaringan Wi-Fi untuk menyajikan visualisasi data *real-time*, grafik monitoring, serta status perekaman data tanpa ketergantungan pada platform pihak ketiga.
2. Sistem SCADA terbukti mampu melakukan akuisisi data parametrik secara *real-time* dengan tingkat akurasi tinggi di bawah ambang batas toleransi ilmiah ($< 5\%$), di mana berdasarkan analisis komparatif statistik terhadap alat validator diperoleh nilai galat (*error*) sensor TDS sebesar 1,86% hingga 2,96% dengan titik optimal 1,10% pada konsentrasi 1000 ppm, sensor pH sebesar 3,54% (pH 4,01) hingga 4,64% (pH 9,18) dengan tingkat *error* terendah 2,78% pada pH netral 6,86, sensor DHT11 yang konsisten membaca suhu udara pada rentang galat 0,89% hingga 2,64%, serta sensor DS18B20 yang menunjukkan presisi tinggi pada kondisi air PAM sebesar 1,34% dan mencapai titik paling akurat sebesar 0,90% pada media air hangat.

3. Sistem SCADA yang dikembangkan telah berhasil menjalankan fungsi kendali otomatis terhadap proses suplai nutrisi dan pengondisian lingkungan di dalam *greenhouse* secara terintegrasi. Melalui perintah kontrol taktis dari ESP32 yang dialirkan ke modul relay, sistem mampu mengeksekusi aktivasi aktuator berupa pompa nutrisi TDS dan solenoid valve (kran otomatis) secara responsif berdasarkan parameter batas aman yang telah ditentukan, sehingga berhasil meminimalkan intervensi manual serta menekan risiko kesalahan pengelolaan akibat *human error*.

5.2 Saran

1. Sistem SCADA yang telah dikembangkan diharapkan mampu mengendalikan parameter pH dan suhu larutan nutrisi secara otomatis berdasarkan nilai *setpoint*, sehingga proses pengendalian dapat berlangsung lebih efektif dan efisien tanpa memerlukan intervensi manual.
2. Kalibrasi sensor, khususnya sensor pH dan TDS, perlu dilakukan secara berkala agar hasil pengukuran tetap akurat, stabil, serta mampu meminimalkan nilai galat (*error*) pada berbagai kondisi larutan nutrisi.
3. Penelitian selanjutnya diharapkan melakukan pengujian sistem dalam kondisi *greenhouse* yang sebenarnya dengan menambahkan fitur pendukung, seperti visualisasi data historis, sistem notifikasi, serta sensor lingkungan lainnya untuk meningkatkan kinerja dan keandalan sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- Adidrana, D., Iskandar, A. R., Nurhayati, A., Suyatno, -, Ramdhani, M., Adam, K. B., Ardianto, R., & Ekaputri, C. (2022). Simultaneous Hydroponic Nutrient Control Automation System Based on Internet of Things. *JOIV: International Journal on Informatics Visualization*, 6(1), 124. <https://doi.org/10.30630/joiv.6.1.865>
- Aisyah, S., & Harmadi, H. (2024). Sistem Monitoring Suhu pada Proses Pendingin Larutan Nutrisi Hidroponik Menggunakan Elemen Peltier dan TDS Meter. *Jurnal Fisika Unand*, 13(3), 336–342. <https://doi.org/10.25077/jfu.13.3.336-342.2024>
- Alabi, O. O., Adeaga, O. A., Ajagbe, S. A., Adekunle, E. O., & Adigun, M. O. (2024). Design and implementation of an alcohol detection driver system. *International Journal of Reconfigurable and Embedded Systems (IJRES)*, 13(2), 278. <https://doi.org/10.11591/ijres.v13.i2.pp278-285>
- Al-Syatibi, A. I. (2003). *Al-Muwafaqat fi Ushul al-Syari'ah*. Beirut: Dar al-Kutub al-Ilmiyyah.
- Arif Supriyanto, & Fathurrahmani, F. (2019). The prototype of the Greenhouse Smart Control and Monitoring System in Hydroponic Plants. *Digital Zone: Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi*, 10(2), 131–143. <https://doi.org/10.31849/digitalzone.v10i2.3265>
- Baumann, M., Gebhart, F., Mattes, O., Nikas, S., & Heuveline, V. (2017). Development and implementation of a temperature monitoring system for HPC systems. Preprint Series of the Engineering Mathematics and Computing Lab, No 07 (2017): Development and implementation of a temperature monitoring system for HPC systems. <https://doi.org/10.11588/EMCLPP.2017.7.43398>
- DFRobot. (2021). Gravity: Analog pH Sensor/Meter Kit V2 (SKU: SEN0161-V2). DFRobot Wiki. https://wiki.dfrobot.com/Gravity_Analog_pH_Sensor_Meter_Kit_V2_SKU_SEN0161-V2
- DFRobot. (2021). Gravity: Analog TDS Sensor/Meter for Arduino (SKU: SEN0244). DFRobot Wiki. https://wiki.dfrobot.com/Gravity_Analog_TDS_Sensor_Meter_For_Arduino_SKU_SEN0244
- Faizin, H. (2021). SEJARAH DAN KARAKTERISTIK AL-QUR'AN DAN TERJEMAHNYA KEMENTERIAN AGAMA RI. *SUHUF*, 14(2), 283–311. <https://doi.org/10.22548/shf.v14i2.669>
- Ibnu Katsir. 2003. *Tafsir Ibnu Katsir Jilid 2*. Terj. M. Abdul Ghoffar E.M. Bogor: Pustaka Imam Asy-Syafi'i.
- I., L., & C., F. (2012). Nutrient Solutions for Hydroponic Systems. Dalam T. Asao (Ed.), *Hydroponics—A Standard Methodology for Plant Biological Researches*. InTech. <https://doi.org/10.5772/37578>
- Ismail bin Umar bin Katsir. (2008). *Tafsir Ibnu Katsir Jilid 2*. Jakarta: Pustaka

Imam Asy-Syafi'i.

- Jones Jr., J. B. (2016). *Hydroponics* (0 ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780849331671>
- Jeong, H., Jung, B. J., Kim, J. H., Choi, S.-H., Lee, Y. J., & Kim, K. S. (2022). Instant pH sensor based on the functionalized cellulose for detecting strong acid leaks. *Royal Society Open Science*, 9(3), 211660. <https://doi.org/10.1098/rsos.211660>
- Jumawal, Harianto, Mahpuz, & Muhammad Wasil. (2026). Perbandingan Performa Sensor DHT11, DHT22, dan 808H5V5 terhadap Pengukuran Kelembapan Udara Berbasis Internet Of Things. *Infotek: Jurnal Informatika dan Teknologi*, 9(1), 152–162. <https://doi.org/10.29408/jit.v9i1.33069>
- Khuluq, M. K., & Asmuni, A. (2025). Hifz Al-Bi'ah as Part of Maqashid Al-Shari'ah and Its Relevance in the Context of Global Climate Change. *Indonesian Journal of Interdisciplinary Islamic Studies*, 7(2). <https://doi.org/10.20885/ijis.vol7.iss2.art3>
- Kristianto, A., Chai, C. A., Chainatra, D., Onggie, K., & Alexander, W. J. (2023). Penerapan Smart Greenhouse Untuk Optimalisasi Hasil Pertanian Hidroponik dengan Implementasi IoT dan Machine Learning di Syifa Hidroponik. *dst*, 3(2), 225–233. <https://doi.org/10.47709/dst.v3i2.3010>
- Maxim Integrated. (2019). DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer. Datasheet. <https://www.analog.com/en/products/ds18b20>.
- Md Dahlal, N. H., & Desa, R. (2026). Elemen Hifz Al-Nasl dalam Agihan Zakat di Negeri Kedah: Analisis Berdasarkan Maqasid Al-Syariah. *AZKA International Journal of Zakat & Social Finance*, 153–163. <https://doi.org/10.51377/azjaf.vol7no1.250>
- O. Aghenta, L., Tariq Iqbal, M., & Department of Electrical and Computer Engineering, Faculty of Engineering and Applied Science, Memorial University of Newfoundland (MUN), St. John's, NL A1B 3X5, Canada. (2020). Design and implementation of a low-cost, open source IoT-based SCADA system using ESP32 with OLED, ThingsBoard and MQTT protocol. *AIMS Electronics and Electrical Engineering*, 4(1), 57–86. <https://doi.org/10.3934/ElectrEng.2020.1.57>
- Putra, P. A., & Yuliando, H. (2015). Soilless Culture System to Support Water Use Efficiency and Product Quality: A Review. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 3, 283–288. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.01.054>
- Resh, H. M. (2022). *Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower* (8 ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003133254>
- Sambo, P., Nicoletto, C., Giro, A., Pii, Y., Valentinuzzi, F., Mimmo, T., Lugli, P., Orzes, G., Mazzetto, F., Astolfi, S., Terzano, R., & Cesco, S. (2019). *Hydroponic Solutions for Soilless Production Systems: Issues and*

- Opportunities in a Smart Agriculture Perspective. *Frontiers in Plant Science*, 10, 923. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00923>
- Shihab, M. Q. (2020). *Al-Quran dan Maknanya*. Lentera Hati. <https://books.google.co.id/books?id=eTnfDwAAQBAJ>
- Shihab, M. Q. (2002). *Tafsir Al-Misbah: Pesan, Kesan dan Keserasian Al-Qur'an* (Vol. 13). Lentera Hati.
- Shihab, M. Quraish. 2002. *Tafsir Al-Misbah: Pesan, Kesan dan Keserasian Al-Qur'an* Jilid 14. Jakarta: Lentera Hati.
- Singh, H. P., Aris, I. B., & Siddiqui, A. S. (Ed.). (2025). *Recent Developments in Control, Automation and Power Engineering: Select Proceedings of the 5th International Conference, RDCAPE-2023, Volume 2* (Vol. 1303). Springer Nature Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-96-0047-2>
- Soetedjo, A., & Hendriarianti, E. (2023). Development of an IoT-Based SCADA System for Monitoring of Plant Leaf Temperature and Air and Soil Parameters. *Applied Sciences*, 13(20), 11294. <https://doi.org/10.3390/app132011294>
- Wahyu S J Saputra & Faisal Muttaqin. (2021). Pemantauan Suhu Air Pada Sistem Tanaman Hidroponik Menggunakan Sensor DS18B20 Waterproof. *Jurnal JEETech*, 2(2), 60–64. <https://doi.org/10.48056/jeetech.v2i2.165>

LAMPIRAN

Lampiran 1 **Program**

// Tab Utama: monitoring_hidroponik.ino

#include <Wire.h>

#include <Adafruit_ADS1X15.h>

#include <DHT.h>

#include <OneWire.h>

#include <DallasTemperature.h>

#include <LiquidCrystal_I2C.h>

#include <WiFi.h>

#include <WebServer.h>

#include "index.h"

//

=====

// KONFIGURASI JARINGAN WI-FI (GANTI SESUAI WI-FI/HOTSPOT
ANDA)

//

=====

const char* ssid = "UIN-WIFI";

const char* password = "";

WebServer server(80);

//

=====

// PIN DEFINITIONS

//

=====

#define DHTPIN 4

#define DHTTYPE DHT11

```

#define DS18B20_PIN 5
#define RELAY_SELENOID 26
#define RELAY_POMPA 27
#define RELAY_ON LOW
#define RELAY_OFF HIGH

#define PH_VREF 3.3
#define PH_CAL_VOLTAGE_4 2.23
#define PH_CAL_VOLTAGE_7 1.82
#define TDS_VREF 3.3

#define PH_MIN 6.0
#define PH_MAX 8.0
#define TDS_MIN 200.0
#define TDS_MAX 800.0

#define BACA_INTERVAL 2000
#define RELAY_MIN_ON 5000
#define RELAY_MIN_OFF 3000
#define LCD_PAGE_INTERVAL 3000

//
=====

// TIMER KUSTOM: 3 MENIT x 15 KALI DATA
//
=====

unsigned long intervalTimerKustom = 180000; // 3 Menit (180000 ms)
unsigned long waktuTerakhirRekam = 0;
int jumlahDataTerekam = 0;
const int batasMaksimalData = 15;

```

```

bool statusSelesaiMerekam    = false;

//
=====

// VARIABEL GLOBAL SENSOR
//
=====

Adafruit_ADS1115 ads;
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
OneWire oneWireBus(DS18B20_PIN);
DallasTemperature sensorDS18B20(&oneWireBus);
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

float nilaiPH      = 0.0;
float nilaiTDS     = 0.0;
float nilaiSuhu    = 0.0;
float nilaiLembab  = 0.0;
float nilaiSuhuAir = 0.0;
bool statusSolenoid = false;
bool statusPompa   = false;

unsigned long waktuTerakhirBaca = 0;
unsigned long waktuSolenoidON   = 0;
unsigned long waktuSolenoidOFF  = 0;
unsigned long waktuPompaON      = 0;
unsigned long waktuPompaOFF     = 0;
unsigned long waktuTerakhirLCD  = 0;
uint8_t      halamanLCD        = 0;

#define FILTER_SAMPLES 10

```

```

float bufferPH[FILTER_SAMPLES] = {0};
float bufferTDS[FILTER_SAMPLES] = {0};
int indeksSampel = 0;

//
=====

// LOGIKA PERHITUNGAN SENSOR
//
=====

float konversiPH(float tegangan) {
    float slope = (7.0 - 4.0) / (PH_CAL_VOLTAGE_7 - PH_CAL_VOLTAGE_4);
    return 7.0 + slope * (tegangan - PH_CAL_VOLTAGE_7);
}

float konversiTDS(float tegangan, float suhu) {
    float kompensasiSuhu = 1.0 + 0.02 * (suhu - 25.0);
    return ((133.42 * pow(tegangan/kompensasiSuhu, 3) - 255.86 *
pow(tegangan/kompensasiSuhu, 2) + 857.39 * (tegangan/kompensasiSuhu)) *
0.5);
}

float movingAverage(float *buffer, float nilaiBaru) {
    buffer[indeksSampel] = nilaiBaru;
    float total = 0.0;
    for (int i = 0; i < FILTER_SAMPLES; i++) total += buffer[i];
    return total / FILTER_SAMPLES;
}

void bacaSemua() {
    int16_t rawA0 = ads.readADC_SingleEnded(0);
    int16_t rawA1 = ads.readADC_SingleEnded(1);

```

```

float vPH = constrain(ads.computeVolts(rawA0), 0.0, PH_VREF);
float vTDS = constrain(ads.computeVolts(rawA1), 0.0, TDS_VREF);

float suhu = dht.readTemperature();
float lembab = dht.readHumidity();
if (!isnan(suhu) && !isnan(lembab)) { nilaiSuhu = suhu; nilaiLembab = lembab;
}

sensorDS18B20.requestTemperatures();
float suhuAir = sensorDS18B20.getTempCByIndex(0);
if (suhuAir != DEVICE_DISCONNECTED_C) { nilaiSuhuAir = suhuAir; }

float phMentah = constrain(konversiPH(vPH), 0.0, 14.0);
float tdsMentah = constrain(konversiTDS(vTDS, (nilaiSuhuAir > 0.0) ?
nilaiSuhuAir : nilaiSuhu), 0.0, 5000.0);

nilaiPH = movingAverage(bufferPH, phMentah);
nilaiTDS = movingAverage(bufferTDS, tdsMentah);
indeksSampel = (indeksSampel + 1) % FILTER_SAMPLES;
}

// Menampilkan data di Serial Monitor laptop Anda
void printData() {
  Serial.println("=====");
  Serial.print("Perekaman Data Ke: "); Serial.print(jumlahDataTerekam);
  Serial.println(statusSelesaiMerekam ? " [SELESAI]" : " [RUNNING]");
  Serial.print("pH Air    : "); Serial.println(nilaiPH, 2);
  Serial.print("TDS Nutrisi : "); Serial.print(nilaiTDS, 0); Serial.println(" ppm");
  Serial.print("Suhu Udara  : "); Serial.print(nilaiSuhu, 1); Serial.println(" *C");
  Serial.print("Kelembaban : "); Serial.print(nilaiLembab, 0); Serial.println("%");
  Serial.print("Suhu Air    : "); Serial.print(nilaiSuhuAir, 2); Serial.println(" *C");
}

```

```

Serial.print("Solenoid   : "); Serial.println(statusSolenoid ? "ON" : "OFF");
Serial.print("Pompa     : "); Serial.println(statusPompa ? "ON" : "OFF");
Serial.println("=====");
}

```

```

void kontrolSolenoid() {
    unsigned long sekarang = millis();
    bool seharusnyaON = (nilaiTDS < TDS_MIN);
    if (seharusnyaON && !statusSolenoid) {
        if (sekarang - waktuSolenoidOFF >= RELAY_MIN_OFF) {
            digitalWrite(RELAY_SELENOID, RELAY_ON); statusSolenoid = true;
            waktuSolenoidON = sekarang;
        }
    } else if (!seharusnyaON && statusSolenoid) {
        if (sekarang - waktuSolenoidON >= RELAY_MIN_ON) {
            digitalWrite(RELAY_SELENOID, RELAY_OFF); statusSolenoid = false;
            waktuSolenoidOFF = sekarang;
        }
    }
}

```

```

void kontrolPompa() {
    unsigned long sekarang = millis();
    bool seharusnyaON = (nilaiTDS < TDS_MIN);
    if (seharusnyaON && !statusPompa) {
        if (sekarang - waktuPompaOFF >= RELAY_MIN_OFF) {
            digitalWrite(RELAY_POMPA, RELAY_ON); statusPompa = true;
            waktuPompaON = sekarang;
        }
    } else if (!seharusnyaON && statusPompa) {
        if (sekarang - waktuPompaON >= RELAY_MIN_ON) {

```

```

    digitalWrite(RELAY_POMPA, RELAY_OFF); statusPompa = false;
    waktuPompaOFF = sekarang;

```

```

    }
}
}

```

```

void tampilLCD() {
    unsigned long sekarang = millis();
    if (sekarang - waktuTerakhirLCD < LCD_PAGE_INTERVAL) return;
    waktuTerakhirLCD = sekarang;
    lcd.clear();
    switch (halamanLCD) {
        case 0:
            lcd.setCursor(0, 0); lcd.print("pH:"); lcd.print(nilaiPH, 2);
            lcd.setCursor(0, 1); lcd.print("TDS:"); lcd.print(nilaiTDS, 0);
            lcd.print("ppm");
            break;
        case 1:
            lcd.setCursor(0, 0); lcd.print("Suhu:"); lcd.print(nilaiSuhu, 1); lcd.print("C");
            lcd.setCursor(0, 1); lcd.print("Data Ke-"); lcd.print(jumlahDataTerekam);
            break;
    }
    halamanLCD = (halamanLCD + 1) % 2;
}

```

```

//
=====
==

// WEB SERVER HANDLER
//
=====
==

```

```

void handleRoot() {

```

```

server.send(200, "text/html", index_html);
}

void handleData() {
    unsigned long sekarang = millis();
    long sisaWaktuDetik = 0;

    if (!statusSelesaiMerekam) {
        sisaWaktuDetik = (intervalTimerKustom - (sekarang - waktuTerakhirRekam)) /
        1000;
        if (sisaWaktuDetik < 0) sisaWaktuDetik = 0;
    }

    String json = "{";
    json += "\"ph\":" + String(nilaiPH, 2) + ",";
    json += "\"tds\":" + String(nilaiTDS, 1) + ",";
    json += "\"suhu\":" + String(nilaiSuhu, 1) + ",";
    json += "\"lembab\":" + String(nilaiLembab, 0) + ",";
    json += "\"suhu_air\":" + String(nilaiSuhuAir, 2) + ",";
    json += "\"selenoid\":" + String(statusSelenoid ? "true" : "false") + ",";
    json += "\"pompa\":" + String(statusPompa ? "true" : "false") + ",";
    json += "\"count\":" + String(jumlahDataTerekam) + ",";
    json += "\"sisa_waktu\":" + String(sisaWaktuDetik) + ",";
    json += "\"is_selesai\":" + String(statusSelesaiMerekam ? "true" : "false");
    json += "}";
    server.send(200, "application/json", json);
}

//
=====
// SETUP & MAIN LOOP

```

```
//
=====
==

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(RELAY_SELENOID, OUTPUT);
  pinMode(RELAY_POMPA, OUTPUT);
  digitalWrite(RELAY_SELENOID, RELAY_OFF);
  digitalWrite(RELAY_POMPA, RELAY_OFF);

  Wire.begin(21, 22);
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.print("WiFi Connecting");

  WiFi.begin(ssid, password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) { delay(500); Serial.print("."); }

  lcd.clear();
  lcd.print("IP Address:");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print(WiFi.localIP());

  server.on("/", handleRoot);
  server.on("/data", handleData);
  server.begin();

  if (!ads.begin()) { while (1); }
  ads.setGain(GAIN_ONE);
  ads.setDataRate(RATE_ADS1115_128SPS);
  dht.begin();
}
```

```

sensorDS18B20.begin();

// Data ke-1 langsung diambil saat pertama kali alat menyala
bacaSemua();
jumlahDataTerekam = 1;
waktuTerakhirRekam = millis();
printData();

waktuSolenoidOFF = millis();
waktuPompaOFF = millis();
waktuTerakhirLCD = millis();
}

void loop() {
  server.handleClient();

  unsigned long sekarang = millis();

  // Update pembacaan sensor dan tampilkan di Serial Monitor secara konstan
  setiap 2 detik
  if (sekarang - waktuTerakhirBaca >= BACA_INTERVAL) {
    waktuTerakhirBaca = sekarang;
    bacaSemua();
    printData();
  }

  // Timer internal pencatatan terjadwal 3 Menit x 15 Data
  if (!statusSelesaiMerekam) {
    if (sekarang - waktuTerakhirRekam >= intervalTimerKustom) {
      waktuTerakhirRekam = sekarang;
      jumlahDataTerekam++;
    }
  }
}

```

```
    if (jumlahDataTerekam >= batasMaksimalData) {  
        statusSelesaiMerekam = true;  
    }  
}  
  
kontrolSolenoid();  
kontrolPompa();  
tampilLCD();  
yield();  
}
```

Lampiran 2 Program HTML

// Tab: index.h

// Menyimpan kode web dashboard dengan tambahan Grafik dan Status Timer
(Tanpa Tombol Excel)

```

const char index_html[] PROGMEM = R"rawliteral(
<!DOCTYPE html>
<html lang="id">
<head>
<meta charset="UTF-8">
<meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
<title>Dashboard Monitoring Hidroponik</title>
<script src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/chart.js"></script>
<style>
:root {
--bg-color: #f0f4f8;
--card-bg: #ffffff;
--text-main: #2c3e50;
--text-sub: #7f8c8d;
--primary: #3498db;
--success: #2ecc71;
--danger: #e74c3c;
}
body {
font-family: 'Segoe UI', Tahoma, Geneva, Verdana, sans-serif;
background-color: var(--bg-color);
color: var(--text-main);
margin: 0;
padding: 20px;
display: flex;
justify-content: center;
}
.dashboard {
width: 100%;
max-width: 700px;

```

```

background: var(--card-bg);
padding: 25px;
border-radius: 16px;
box-shadow: 0 10px 25px rgba(0,0,0,0.05);
}

h1 { text-align: center; margin-bottom: 5px; font-size: 1.8rem; }
.subtitle { text-align: center; color: var(--text-sub); margin-top: 0; margin-bottom: 25px; font-size: 0.9rem; }

.timer-banner {
background: #eef2f7;
border-radius: 12px;
padding: 15px;
margin-bottom: 20px;
text-align: center;
border: 1px solid #dcdde1;
}

.timer-status { font-weight: bold; color: var(--primary); font-size: 1.1rem; }

.grid { display: grid; grid-template-columns: 1fr 1fr; gap: 15px; margin-bottom: 20px; }

.card { background: #f8fafc; padding: 15px; border-radius: 12px; border-left: 5px solid var(--primary); box-sizing: border-box; }

.card.full-width { grid-column: span 2; }

.card.relay-card { border-left-color: #bdc3c7; display: flex; justify-content: space-between; align-items: center; }

.card-title { font-size: 0.85rem; color: var(--text-sub); text-transform: uppercase; margin-bottom: 5px; }

.card-value { font-size: 1.6rem; font-weight: bold; }

.unit { font-size: 1rem; font-weight: normal; color: var(--text-sub); }

.badge { padding: 5px 12px; border-radius: 20px; font-size: 0.9rem; font-weight: bold; text-transform: uppercase; }

.badge.on { background-color: #e8f8f0; color: var(--success); }

```

```

.badge.off { background-color: #fde8e8; color: var(--danger); }

.chart-container { margin-top: 25px; padding: 15px; background: #f8fafc; border-
radius: 12px; }

canvas { max-width: 100%; margin-top: 10px; }

</style>
</head>
<body>

<div class="dashboard">
<h1>SMART HIDROPONIK</h1>
<p class="subtitle">Sistem Monitoring & Perekaman Data</p>

<div class="timer-banner">
<div class="timer-title" style="color: var(--text-sub); font-size: 0.85rem; text-
transform: uppercase;">Status Perekaman Terjadwal</div>
<div class="timer-status" id="web_timer_status">Menghubungkan...</div>
<div style="font-size: 0.8rem; color: var(--text-sub); margin-top: 4px;">Interval:
3 Menit | Batas Maksimal: 15 Data</div>
</div>

<div class="grid">
<div class="card" style="border-left-color: #2ecc71;">
<div class="card-title">Derajat Keasaman (pH)</div>
<div class="card-value" id="web_ph">0.00</div>
</div>

<div class="card" style="border-left-color: #f1c40f;">
<div class="card-title">Kepekatan Nutrisi</div>
<div class="card-value" id="web_tds">0 <span class="unit">ppm</span></div>
</div>

```

```
<div class="card">
```

```
<div class="card-title">Suhu Udara</div>
```

```
<div class="card-value" id="web_suhu">0.0 <span  
class="unit">°C</span></div>
```

```
</div>
```

```
<div class="card" style="border-left-color: #9b59b6;">
```

```
<div class="card-title">Kelembaban</div>
```

```
<div class="card-value" id="web_lembab">0 <span  
class="unit">%</span></div>
```

```
</div>
```

```
<div class="card full-width" style="border-left-color: #1abc9c;">
```

```
<div class="card-title">Suhu Air Nutrisi</div>
```

```
<div class="card-value" id="web_suhu_air">0.00 <span  
class="unit">°C</span></div>
```

```
</div>
```

```
<div class="card full-width relay-card" id="card_solenoid">
```

```
<div><div class="card-title">Solenoid Valve</div></div>
```

```
<span class="badge off" id="web_solenoid">OFF</span>
```

```
</div>
```

```
<div class="card full-width relay-card" id="card_pompa">
```

```
<div><div class="card-title">Pompa Air Nutrisi</div></div>
```

```
<span class="badge off" id="web_pompa">OFF</span>
```

```
</div>
```

```
</div>
```

```
<div class="chart-container">
```

```
<div class="card-title" style="font-weight: bold; color: var(--text-main);">Grafik  
Riwayat pH & TDS (Maks 15 Data)</div>
```

```

<canvas id="hidroponikChart"></canvas>

</div>

</div>

<script>

const ctx = document.getElementById('hidroponikChart').getContext('2d');

const dataRiwayat = { labels: [], datasets: [

  { label: 'pH Air', data: [], borderColor: '#2ecc71', backgroundColor: 'rgba(46, 204, 113, 0.1)', yAxisID: 'y-ph', tension: 0.3, fill: true },

  { label: 'TDS (ppm)', data: [], borderColor: '#f1c40f', backgroundColor: 'rgba(241, 196, 15, 0.1)', yAxisID: 'y-tds', tension: 0.3, fill: true }

]};

const configChart = { type: 'line', data: dataRiwayat, options: { responsive: true, scales: {

  'y-ph': { type: 'linear', position: 'left', min: 0, max: 14, title: { display: true, text: 'Skala pH' } },

  'y-tds': { type: 'linear', position: 'right', min: 0, max: 1500, title: { display: true, text: 'Nutrisi (ppm)' }, grid: { drawOnChartArea: false } }

}}};

const myChart = new Chart(ctx, configChart);

let dataCountTerakhir = -1;

setInterval(function() {

  fetch('/data')

  .then(response => response.json())

  .then(data => {

    document.getElementById('web_ph').innerText = data.ph.toFixed(2);

    document.getElementById('web_tds').innerHTML = data.tds.toFixed(0) + ' <span class="unit">ppm</span>';

    document.getElementById('web_suhu').innerHTML = data.suhu.toFixed(1) + ' <span class="unit">°C</span>';
  });
}, 5000);

```

```
document.getElementById('web_lembab').innerHTML = data.lembab.toFixed(0)
+ ' <span class="unit">%</span>';
```

```
document.getElementById('web_suhu_air').innerHTML =
data.suhu_air.toFixed(2) + ' <span class="unit">°C</span>';
```

```
let statusTimer = document.getElementById('web_timer_status');
if(data.is_selesai) {
statusTimer.innerText = "Selesai! Berhasil Mengambil 15 Data (Perekaman
Berhenti)";
statusTimer.style.color = "var(--danger)";
} else {
statusTimer.innerText = "Sedang Merekam... Data ke-" + data.count + " / 15 (Sisa
waktu ke data berikutnya: " + data.sisa_waktu + "s)";
statusTimer.style.color = "var(--success)";
}
```

```
if (data.count > dataCountTerakhir && data.count <= 15 && data.count > 0) {
dataCountTerakhir = data.count;
myChart.data.labels.push("Data " + data.count);
myChart.data.datasets[0].data.push(data.ph);
myChart.data.datasets[1].data.push(data.tds);
myChart.update();
}
```

```
document.getElementById('web_selenoid').innerText = data.selenoid ? "ON" :
"OFF";
```

```
document.getElementById('web_selenoid').className = data.selenoid ? "badge
on" : "badge off";
```

```
document.getElementById('web_pompa').innerText = data.pompa ? "ON" :
"OFF";
```

```
document.getElementById('web_pompa').className = data.pompa ? "badge on" :
"badge off";
```

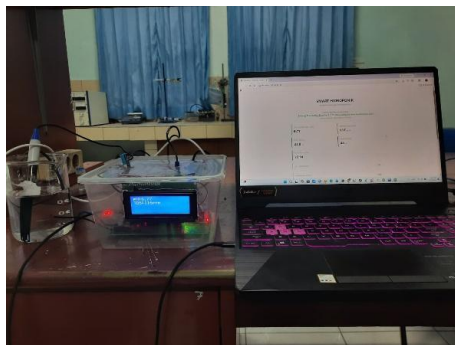
```
}).catch(err => console.error(err));
```

```
}, 2000);
```

```
</script>  
</body>  
</html>  
)rawliteral";
```

Lampiran 3 Foto Pengujian dan Serial Monitor

a. Foto Pengujian



b. Serial Monitor

The screenshot shows the Arduino IDE interface with the Serial Monitor window open. The monitor displays data from a hydroponic system, including pH, TDS, temperature, and nutrient levels. The data is organized into three identical blocks, each preceded by a separator line.

```

=====
Pencetakan Data Ke: 1 [RUNNING]
pH Air      : 7.18
TDS Nutrisi : 1278 ppm
Suhu Udara : 24.3 °C
Kelembaban : 52 %
Suhu Air    : 24.06 °C
Solenooid   : OFF
Pompa       : OFF
=====

Pencetakan Data Ke: 1 [RUNNING]
pH Air      : 7.18
TDS Nutrisi : 1278 ppm
Suhu Udara : 24.3 °C
Kelembaban : 52 %
Suhu Air    : 24.06 °C
Solenooid   : OFF
Pompa       : OFF
=====

Pencetakan Data Ke: 1 [RUNNING]
pH Air      : 7.18
TDS Nutrisi : 1278 ppm
Suhu Udara : 24.3 °C
Kelembaban : 52 %
Suhu Air    : 24.06 °C
Solenooid   : OFF
Pompa       : OFF
=====

```

The Serial Monitor window is titled "ESP32 Dev Module" and shows the output of the "Serial Monitor X" window. The data is being sent to the "ESP32 Dev Module" on the "COM3" port at a baud rate of 115200.

Jurnal Bimbingan Skripsi

6/10/2026, 12:08 PM

Sistem Informasi Akademik Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang 2.0



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
Jalan Gajayana Nomor 50, Telepon (0341) 551354, Fax. (0341) 572533
Website: <http://www.uin-malang.ac.id> Email: info@uin-malang.ac.id

JURNAL BIMBINGAN SKRIPSI/TESIS/DISERTASI

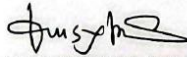
IDENTITAS MAHASISWA

NIM : 220604110046
Nama : RAFLY AKBAR ELFAHMI
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI
Jurusan : FISIKA
Dosen Pembimbing 1 : Dr. IMAM TAZI, M.Si
Dosen Pembimbing 2 : MUBASYIROH, S.S., M.Pd.I
Judul Skripsi/Tesis/Disertasi : SISTEM HIDROPONIK BERBASIS SUPERVISORY CONTROL AND DATA ACQUISITION (SCADA) UNTUK GREENHOUSE

IDENTITAS BIMBINGAN

No	Tanggal Bimbingan	Nama Pembimbing	Deskripsi Proses Bimbingan	Tahun Akademik	Status
1	12 November 2025	Dr. IMAM TAZI, M.Si	Pengajuan Judul	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
2	15 Desember 2025	Dr. IMAM TAZI, M.Si	Konsultasi mengenai Bab 1 dan Bab 2	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
3	01 Januari 2026	Dr. IMAM TAZI, M.Si	Revisi Bab Bab 3	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
4	26 Januari 2026	Dr. IMAM TAZI, M.Si	Bimbingan Mengenai Bab 1, Bab 2, Bab 3	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
5	30 April 2026	MUBASYIROH, S.S., M.Pd.I	Konsultasi mengenai Bab 1, Bab 2, Mengenai Integrasi	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
6	13 Mei 2026	Dr. IMAM TAZI, M.Si	Konsultasi mengenai project skripsi	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
7	14 Mei 2026	Dr. IMAM TAZI, M.Si	Konsultasi mengenai Rancang bangun alat sistem hidroponik berbasis supervisory control and data acquisition (SCADA) untuk greenhouse	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
8	18 Mei 2026	Dr. IMAM TAZI, M.Si	Konsultasi Mengenai data pada bab 4 penelitian	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
9	03 Juni 2026	Dr. IMAM TAZI, M.Si	Bimbingan Mengenai data skripsi	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
10	10 Juni 2026	MUBASYIROH, S.S., M.Pd.I	Bimbingan mengenai integrasi pada Bab 4	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
11	11 Juni 2026	MUBASYIROH, S.S., M.Pd.I	Konsultasi Mengenai Bab 4	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi

Telah disetujui
Untuk mengajukan ujian Skripsi/Tesis/Desertasi

Dosen Pembimbing 2

MUBASYIROH, S.S., M.Pd.I

Malang, 17 - 6 - 2026
Dosen Pembimbing 1

Dr. IMAM TAZI, M.Si


Rajury Kaprodi,
Farid Samud Hananto, S.Si., M.T