SKRIPSI

SIRKULASI AIR OTOMATIS BERBASIS IOT DALAM MENGONTROL KADAR PH AIR PADA TANAMAN HIDROPONIK

DISUSUN OLEH

Abdullah Munawwar

2109020185

PROGRAM STUDI TEKNOLOGI INFORMASI

FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

MEDAN

2026

SIRKULASI AIR OTOMATIS BERBASIS IOT DALAM MENGONTROL KADAR PH AIR PADA TANAMAN HIDROPONIK

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer (S.Kom) dalam Program Studi Teknologi Informasi pada Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

ABDULLAH MUNAWWAR

NPM. 2109020185

PROGRAM STUDI TEKNOLOGI INFORMASI

FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

MEDAN

2026

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi	:	SIRKULASI AIR OTOMATIS BERBASIS IOT DALAM MENGONTROL KADAR PH AIR PADA TANAMAN HIDROPONIK
Nama Mahasiswa	:	ABDULLAH MUNAWWAR
NPM	:	2109020185
Program Studi	:	TEKNOLOGI INFORMASI

Menyetujui
Komisi Pembimbing

(Ferdy Riza ST, M.Kom)
NIDN. 0103068901

Ketua Program Studi	Dekan
(Fatma Sari Hutagalung, S.Kom, M.Kom)	**(Dr. Al-Khowarizmi, S.Kom., M.Kom.)**
NIDN. 0117019301	**NIDN. 0127099201**

PERNYATAAN ORISINALITAS

SIRKULASI AIR OTOMATIS BERBASIS IOT DALAM MENGONTROL KADAR PH AIR PADA TANAMAN HIDROPONIK

SKRIPSI

Saya menyatakan bahwa karya tulis ini adalah hasil karya sendiri, kecuali beberapa kutipan dan ringkasan yang masing-masing disebutkan sumbernya.

Medan, Juni 2026

Yang membuat pernyataan



Abdullah Munawwar

NPM. 2109020185

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, saya bertanda tangan dibawah ini:

Nama	: Abdullah Munawwar
NPM	: 2109020185
Program Studi	: Teknologi Informasi
Karya Ilmiah	: Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Hak Bedas Royalti Non-Eksekutif *(Non-Exclusive Royalty free Right)* atas penelitian skripsi saya yang berjudul:

SIRKULASI AIR OTOMATIS BERBASIS IOT DALAM MENGONTROL KADAR PH AIR PADA TANAMAN HIDROPONIK

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksekutif ini, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara berhak menyimpan, mengalih media, memformat, mengelola dalam bentuk database, merawat dan mempublikasikan Skripsi saya ini tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan sebagai pemegang dan atau sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya.

Medan, Juni 2026

Yang membuat pernyataan



Abdullah Munawwar

NPM. 2109020185

RIWAYAT HIDUP

DATA PRIBADI

Nama Lengkap	: Abdullah Munawwar
Tempat dan Tanggal Lahir	: R. Merah, 23 November 2003
Alamat Rumah	: Jl. Naga Bonar, Siantar Estate
Telepon/Faks/HP	: 085158672008
E-mail	: abdullahmunawwar77@gmail.com
Instansi Tempat Kerja	: -
Alamat Kantor	: -

DATA PENDIDIKAN

SD	: SDN 122338	TAMAT: 2015
SMP	: MTsN Pematang Siantar	TAMAT: 2018
SMA	: SMKN 1 Pematang Siantar	TAMAT: 2021

KATA PENGANTAR



Segala puji bagi Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul "SIRKULASI AIR OTOMATIS BERBASIS IOT DALAM MENGONTROL KADAR PH AIR PADA TANAMAN HIDROPONIK". Penulisan skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer (S.Kom) di Program Studi Teknologi Informasi, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Rasa terima kasih yang tulus penulis sampaikan kepada orang tua tercinta, Bapak **Edi Susanto** dan Ibu **Latifahanum, S.Pd.I**, atas doa, dukungan moril, material, serta semangat yang tak pernah putus. Penyelesaian skripsi ini juga tidak terlepas dari bimbingan dan dukungan berbagai pihak. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Akrim, M.Pd., selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Bapak Dr. Al-Khowarizmi, S.Kom., M.Kom., selaku Dekan FIKTI.
3. Ibu Dr. Firahmi Rizky, S.Kom.,M.Kom., selaku Wakil Dekan I.
4. Bapak Mhd. Basri, S.Si, M.Kom., selaku Wakil Dekan III FIKTI.
5. Ibu Fatma Sari Hutagalung, S.Kom., M.Kom., selaku Ketua Program Studi Teknologi Informasi.
6. Bapak Okvi Nugroho, S.Kom., M.Kom., selaku Sekretaris Program Studi Teknologi Informasi.

7. Bapak Ferdy Riza ST, M.Kom., sebagai pembimbing penulis yang dengan kebaikan hatinya meluangkan waktu dalam membimbing dan memberikan pengarahan yang begitu besar kepada penulis.
8. Seluruh civitas akademika Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Terkhusus kepada saudara penulis, yaitu Syahindah Munawwarah, Naila Syifaul Husna, Sya'diatul Aulawi yang senantiasa mendukung penulis dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini.
10. Kakek dan nenek penulis yang selalu mendukung, memberikan motivasi serta semangat untuk menyelesaikan skripsi ini.
11. Teman-teman seperjuangan penulis yang tidak bisa penulis sebutkan namanya satu persatu, yang telah banyak membantu, dan memberikan semangat dalam penulisan skripsi ini.
12. Kepada seseorang yang tidak bisa penulis sebutkan namanya, Dia adalah sosok yang tidak kalah penting bagi penulis, yang senantiasa menemani penulis, memberikan dukungan, semangat, menghibur penulis, mendengarkan keluh kesah dan meyakinkan penulis agar bisa menyelesaikan skripsi ini.
13. Dan terimakasih kepada pria sederhana yang memiliki impian dan harapan yang besar, namun terkadang sulit dimengerti isi kepalanya, yaitu penulis sendiri. Terimakasih telah berusaha keras untuk meyakinkan dan menguatkan diri sendiri agar dapat menyelesaikan studi ini sampai selesai, semoga langkah kebaikan dan semua harapan yang akan datang selalu menyertai penulis.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Meskipun demikian, penulis berusaha semaksimal mungkin agar penyusunan skripsi ini berhasil dengan sebaik-baiknya sehingga dapat diterima dan disetujui. Akhir kata penulis ucapkan terimakasih.

Medan, 18 April 2026
Penulis

Abdullah Munawwar

ABSTRAK

Kestabilan pH air merupakan faktor krusial dalam sistem hidroponik karena berpengaruh langsung terhadap kemampuan tanaman dalam menyerap nutrisi. Permasalahan yang sering dihadapi adalah proses pemantauan dan pengendalian pH yang masih dilakukan secara manual, sehingga kurang efisien dan berpotensi menyebabkan ketidakseimbangan kondisi lingkungan tanaman. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem sirkulasi air otomatis berbasis Internet of Things (IoT) dalam mengontrol kadar pH air pada tanaman hidroponik. Metode penelitian dilakukan melalui perancangan sistem menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan sensor pH, sensor suhu, dan sensor cahaya, serta aktuator berupa pompa air dan lampu UV. Sistem ini mampu memantau kondisi secara real-time dan melakukan pengendalian otomatis yang terhubung dengan platform berbasis website. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu menjaga kestabilan pH pada rentang optimal 6,5–7,5 dengan tingkat akurasi yang baik serta meningkatkan efisiensi dalam pengelolaan hidroponik. Dengan demikian, sistem ini dapat menjadi solusi yang efektif dan praktis dalam mendukung budidaya tanaman hidroponik berbasis teknologi.

Kata kunci: Internet of Things, hidroponik, pH air, ESP32, sistem otomatis, monitoring

ABSTRACT

The stability of water pH is a crucial factor in hydroponic systems as it directly affects the ability of plants to absorb nutrients. A common problem faced is that the monitoring and control of pH are still carried out manually, making the process inefficient and potentially causing imbalances in the plant growth environment. This study aims to design and implement an automatic water circulation system based on the Internet of Things (IoT) to control the pH level in hydroponic plants. The research method involves designing a system using an ESP32 microcontroller integrated with pH, temperature, and light sensors, as well as actuators in the form of water pumps and UV lamps. The system is capable of monitoring conditions in real-time and performing automatic control connected to a web-based platform. The results show that the system is able to maintain pH stability within the optimal range of 6.5–7.5 with good accuracy and improve efficiency in hydroponic management. Therefore, this system can serve as an effective and practical solution in supporting technology-based hydroponic cultivation.

Keywords: Internet of Things, hydroponics, pH control, ESP32, automation

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN ii
PERNYATAAN ORISINALITAS ii
KATA PENGANTAR v
ABSTRAK viii
ABSTRACT ix
DAFTAR ISI x
DAFTAR TABEL xii
DAFTAR GAMBAR xiii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 4
1.3 Batasan Masalah 5
1.4 Tujuan Penelitian 5
1.5 Manfaat Penelitian 6
BAB II LANDASAN TEORI 7
2.1 Hidroponik 7
2.2 PH Air dalam Sistem Hidroponik 9
2.3 Permasalahan dalam Sistem Hidroponik 11
2.4 Otomatisasi dalam Sistem Pertanian 13
2.5 Internet of Things (IoT) 15
2.6 Intensitas Cahaya dan Fotosintesis 17
2.7 Lampu UV / Grow Light 18
2.8 Sensor pH, Sensor Suhu dan Mikrokontroler 19
2.8.1 Sensor pH 19
2.8.2 Sensor Suhu 20
2.8.3 Mikrokontroler 22
2.8.4 Integrasi Sensor dan Mikrokontroler 23
2.9 Sistem Sirkulasi Air Otomatis 24
2.9.1 Konsep Dasar Sirkulasi Air dalam Hidroponik 24
2.9.2 Peran Otomatisasi dalam Sirkulasi Air 25
2.9.3 Komponen Sistem Sirkulasi Air Otomatis 26

2.9.4 Manfaat Sistem Sirkulasi Air Otomatis 26
2.10 Penelitian Terdahulu 27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 30
3.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian 30
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian 32
3.3 Alat dan Bahan 33
3.4 Perancangan Diagram Blok Sistem 34
3.5 Perancangan Flowchart Sistem 35
3.6 Skema Rancangan Sistem 37
3.7 Metode Pengumpulan Data 47
3.8 Prosedur Penelitian 49
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 51
4.1 Implementasi Sistem 51
4.2 Hasil Pengujian Sistem 52
4.2.1 Pengujian Sensor PH 52
4.2.2 Pengujian Sensor Suhu 53
4.2.3 Pengujian Sensor Cahaya 53
4.2.4 Pengujian Sistem Kontrol PH Otomatis 54
4.2.4 Pengujian Sistem Monitoring Berbasis Web 54
4.3 Skenario Pengujian Sistem 56
4.3.1 Skenario Pengujian Ph Tinggi 56
4.3.2 Skenario Pengujian Ph Rendah 57
4.3.3 Skenario Pengujian Ph Stabil 58
4.4 Pembahasan 59
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 61
5.1 Kesimpulan 61
5.2 Saran 62
DAFTAR PUSTAKA 63

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian terdahulu 28
Tabel 4.1 Pengujian Sensor PH 52
Tabel 4.2 Pengujian Sensor Suhu 53
Tabel 4.3 Pengujian Sensor Cahaya 53
Tabel 4.4 Pengujian Sistem Kontrol PH Otomatis 54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem Hidroponik NFT 7
Gambar 2.2 Rentang Optimal PH Tanaman Hidroponik.....9
Gambar 2.3 Gejala Tanaman Akibat PH Tidak Stabil 12
Gambar 2.4 Sensor PH-4502C 19
Gambar 2.5 Sensor Suhu DS18B20 20
Gambar 2.6 Mikrokontroler ESP32.....22
Gambar 3.1 Contoh Prototype.....31
Gambar 3.2 Diagram Blok System.....35
Gambar 3.3 Flowchart System 36
Gambar 3.4 Skema Rancangan Sistem.....47
Gambar 4.1 Sistem Sirkulasi Air Otomatis Berbasis IoT dalam Mengontrol Kadar Ph Air Pada Tanaman Hidroponik.....52
Gambar 4.2 Dashboard Monitoring Berbasis Web.....55
Gambar 4.3 Kondisi Ph Air Tinggi.....56
Gambar 4.4 Pompa Larutan Ph Down.....57
Gambar 4.5 Kondisi Ph Air Rendah 57
Gambar 4.6 Pompa Larutan Ph Up.....58
Gambar 4.7 Kondisi Ph Stabil 58

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Hidroponik adalah lahan budidaya pertanian tanpa menggunakan media tanah, sehingga hidroponik merupakan aktivitas pertanian yang dijalankan dengan menggunakan air sebagai medium untuk menggantikan tanah. Sehingga sistem bercocok tanam secara hidroponik dapat memanfaatkan lahan yang sempit. Pertanian dengan menggunakan sistem hidroponik memang tidak memerlukan lahan yang luas dalam pelaksanaannya (Sigit Pambudi, Muhammad Alimul Kohar, Fitrizawati, 2024). Tetapi metode hidroponik membutuhkan perawatan yang intensif. Pengendalian kondisi media tanam dan lingkungan tanaman hidroponik merupakan salah satu faktor utama dalam budidaya tanaman hidroponik (Alam & Nasuha, 2020). Dibalik kelebihan yang di miliki model hidroponik ini, terdapat kekurangan yang dimiliki antara lain adanya deficit oksigen terlarut yang dapat dialami tanaman , resiko pembusukan akar tanaman dikarenakan volume air yang berlebih dan endapan pada pipa, serta adanya serangan virus , jamur dan wabah penyakit yang sangat mempengaruhi terhadap perkembangan tanaman (Ellys Kumala Pramartaningthyas M Ihsanul Fuad, 2022). Dalam sistem pertanian hidroponik, air berfungsi sebagai media utama pengganti tanah yang digunakan untuk menyalurkan nutrisi kepada akar tanaman. Oleh karena itu, kualitas air menjadi faktor yang sangat penting untuk diperhatikan. Salah satu aspek utama dari kualitas air adalah kadar pH, yaitu tingkat keasaman atau kebasaan larutan

nutrisi yang diberikan pada tanaman. Tanaman hidroponik memiliki rentang pH optimal, umumnya berkisar antara 5,5 hingga 6,5. Jika kadar pH air berada di luar rentang tersebut, maka tanaman akan kesulitan menyerap unsur hara penting seperti nitrogen, fosfor, dan kalium.

Dengan kata lain, banyak tanaman hidroponik akan rusak atau mati jika nutrisi dan pHyang diberikan tidak sesuai dengan kebutuhan tanaman (Banjardana et al., 2024). Namun dalam penelitian (Tahir et al., 2023) menyatakan bahwa perlunya ketelitian khusus dalam menjaga nutrisi dan kadar keasaman dalam sistem agar tanaman dapat hidup. Ketika tanaman diberi nutrisi yang terlalu banyak, maka tanaman akan mengalami kerusakan di bagian akar dan mengurangi kemampuan tanaman dalam menyerap nutrisi. Ketika tanaman mengalami kekurangan nutrisi, maka daun tanaman akan menguning, dan pada akhirnya berujung pada kegagalan panen. Tidak hanya itu, jikalau nutrisi pada tanaman terlalu asam, maka tanaman akan mengalami kesulitan dalam menyerap nutrisi serta akan mengalami kelebihan zat besi, aluminium, dan mangan. Selain itu, jika nutrisi pada tanaman terlalu basa, maka pucuk-pucuk daun akan berwarna putih kekuning-kuningan (klorosis), karena kekurangan unsur nitrogen, besi, mangan, borium, tembaga, atau seng.

Menurut (Haerani et al., 2025) selain kadar ph dan suhu salah satu faktor utama yang mempengaruhi pertumbuhan dan produksi tanaman dalam sistem hidroponik adalah pencahayaan, Cahaya berperan penting dalam proses fotosintesis yang menentukan laju pertumbuhan dan hasil panen tanaman. Cahaya matahari menjadi sumber energi utama bagi tanaman hidroponik untuk berfotosintesis, salah satu jenis sinar yang di pancarkan matahari adalah sinar UV

(Ultraviolet). Keberadaan sinar ultraviolet dapat membantu dalam melakukan proses fotosintesis (pemasakan makanan pada tumbuhan) khususnya untuk tumbuhan yang mengandung zat hijau daun atau yang biasa dikenal sebagai klorofil (Andini Septya Ningrum, 2024). Namun dalam budidaya hidroponik intensitas cahaya tidak selalu stabil terutama dalam kondisi mendung atau hujan. Untuk mengatasi masalah tersebut diperlukan lingkungan hidroponik yang lebih terkendali, salah satunya penerapan rumah kaca dan lampu UV otomatis yang dapat menjadi solusi ketika intensitas cahaya matahari berada di bawah ambang kebutuhan tanaman, dengan mengintegrasikan sensor cahaya dan sistem kendali otomatis berbasis Internet of Things (IoT), lampu UV dapat diaktifkan secara otomatis saat kondisi cahaya tidak mencukupi, sehingga kebutuhan cahaya tanaman tetap terpenuhi secara konsisten.

Pemantauan dan pengontrolan pH serta suhu secara berkala juga sangat penting untuk menjaga kesehatan tanaman. Namun, melakukan pemantauan pH secara manual setiap hari bisa menjadi pekerjaan yang melelahkan, memakan waktu, dan tidak efisien bagi petani hidroponik. Karena itu penulis akan merancang sistem sirkulasi air otomatis yang dapat memantau dan mengatur kadar pH air secara real-time. Penerapan teknologi IoT pada pertanian hidroponik merupakan solusi yang tepat karena kemampuan elektronik yang disediakan oleh IoT dapat mengatasi berbagai tantangan yang dihadapi oleh para petani (Al-Jufri et al., 2023). Internet of Things (IoT) adalah sebuah teknologi yang terhubung dengan jaringan internet dan dapat diakses, dikontrol dan dikelola melalui perangkat smart phone (Firmansyah et al., 2024). Teknologi IoT berperan penting dalam modernisasi sistem hidroponik dengan memungkinkan pemantauan dan

pengendalian otomatis terhadap kondisi lingkungan seperti pH, dan suhu dari jarak jauh. Seiring berkembangnya teknologi Internet of Things (IoT), sistem monitoring dan pengendalian tidak lagi terbatas pada aplikasi pihak ketiga, melainkan dapat dikembangkan secara mandiri melalui platform berbasis website. Penggunaan website memungkinkan fleksibilitas dalam pengelolaan data, tampilan antarmuka yang lebih adaptif, serta kemudahan akses melalui berbagai perangkat tanpa ketergantungan pada aplikasi tertentu. Penerapan sistem berbasis Internet of Things (IoT) memungkinkan proses pemantauan parameter dilakukan secara real-time melalui integrasi sensor dan mikrokontroler yang terhubung dengan sistem monitoring digital, sehingga meningkatkan akurasi dan efisiensi pengawasan dibandingkan metode manual (Riza & Arianty, 2025). Hal ini meningkatkan efisiensi, akurasi, dan mengurangi intervensi manual. Penulis menganggap penelitian ini penting untuk menghadirkan solusi pertanian hidroponik yang efisien, praktis, dan cocok untuk lahan sempit serta sumber daya yang terbatas.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, maka permasalahan utama dalam penelitian ini dapat dirumuskan ke dalam beberapa pertanyaan sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem sirkulasi air otomatis berbasis Internet of Things (IoT) pada sistem hidroponik?
2. Bagaimana sistem dapat memantau dan mengontrol kadar pH air secara real-time menggunakan sensor pH dan mikrokontroler?

3. Bagaimana efektivitas perangkat yang dirancang dalam menjaga kestabilan kadar pH air dalam rentang optimal bagi tanaman hidroponik?
4. Bagaimana pengguna dapat memantau kondisi pH dan sistem sirkulasi air secara jarak jauh melalui perangkat berbasis IoT?
5. Bagaimana sistem dapat mendeteksi kondisi intensitas cahaya matahari dan mengaktifkan lampu UV secara otomatis?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih fokus, maka ruang lingkup dari penelitian ini dibatasi pada beberapa hal sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya akan menggunakan sayuran pakcoy (sawi sendok) dengan jenis hidroponik sistem NFT (Nutrient Film Technique) sebagai media tanamnya.
2. Penelitian ini hanya memantau dan mengontrol kadar pH air, dan suhu sebagai parameter utama. Parameter lain seperti nutrisi (TDS/EC) tidak termasuk dalam ruang lingkup penelitian ini.
3. Penelitian menggunakan sensor pH untuk mendeteksi tingkat keasaman air dan pompa air sebagai aktuator utama untuk sirkulasi dan penambahan larutan penyeimbang pH (pH up/down).
4. Website hanya menampilkan data pH, suhu, dan status aktuator.
5. Lampu UV digunakan sebagai cahaya tambahan saat intensitas matahari di bawah ambang batas tertentu.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Merancang dan membangun perangkat sirkulasi air otomatis berbasis IoT yang mampu di implementasikan dalam budidaya tanaman hidroponik.
2. Implementasi sensor pH untuk mendeteksi kadar keasaman air secara real-time dan menyesuaikannya secara otomatis dengan bantuan pompa dan larutan pH up/down.
3. Mengintegrasikan pengendalian pH, suhu, dan intensitas cahaya dalam satu sistem padu dengan platform Internet of Things (IoT) agar pengguna dapat melakukan pemantauan dan pengendalian jarak jauh melalui perangkat smartphone.
4. Menguji efektivitas dan akurasi sistem dalam menjaga kestabilan pH air pada rentang optimal (sekitar 5,5–6,5) untuk pertumbuhan tanaman hidroponik.
5. Mengembangkan sistem monitoring dan pengendalian hidroponik berbasis website yang terintegrasi dengan perangkat IoT.

1.5 Manfaat Penelitian

Dengan adanya sistem sirkulasi air otomatis yang mampu mengontrol kadar pH secara real-time, maka beberapa manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini antara lain:

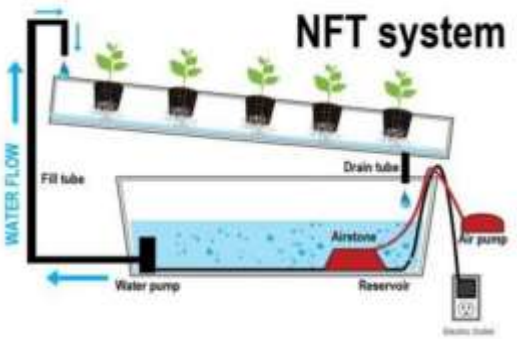
1. Menambah referensi ilmiah terkait penerapan IoT dalam sistem pertanian modern.
2. Membantu petani hidroponik dalam memantau dan mengontrol pH air secara otomatis.
3. Mengurangi risiko kerusakan tanaman akibat ketidakseimbangan pH air.
4. Mendukung sistem hidroponik indoor atau semi-outdoor.
5. Mempermudah pemantauan sistem hidroponik secara jarak jauh melalui website.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Hidroponik

Hidroponik adalah lahan budidaya pertanian tanpa menggunakan media tanah, Sehingga sistem bercocok tanam secara hidroponik dapat memanfaatkan lahan yang sempit. Pertanian dengan menggunakan sistem hidroponik memang tidak memerlukan lahan yang luas dalam pelaksanaannya, tetapi dalam bisnis pertanian hidroponik hanya layak dipertimbangkan, mengingat dapat dilakukan di pekarangan rumah, atap rumah maupun lahan lainnya (Handayani & ., 2022). Salah satu sistem hidroponik yang paling banyak digunakan karena efisiensinya adalah NFT (Nutrient Film Technique). Gambar 1 menunjukkan sistem hidroponik NFT yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 2.1 Sistem Hidroponik NFT

Sumber: https://asabi.co.id/mengenal-nutrient-film-techniquenft-sistem-sejuta-umat-di-pasar-hidroponik/

Sistem ini bekerja dengan cara mengalirkan larutan nutrisi dalam lapisan tipis (film) melalui saluran atau talang tempat akar tanaman tumbuh. Aliran nutrisi

dilakukan secara terus-menerus dan sirkulatif menggunakan pompa, sehingga tanaman mendapatkan suplai air, oksigen, dan nutrisi secara konstan. Ciri khas dari sistem NFT adalah akar tanaman hanya sebagian yang terendam dalam aliran nutrisi, sedangkan sisanya berada di ruang yang cukup terbuka dan terpapar udara. Hal ini memungkinkan akar mendapatkan oksigen yang cukup, yang sangat penting untuk pertumbuhan tanaman. Dengan sistem ini, akar tidak terendam sepenuhnya seperti pada metode Deep Water Culture (DWC), sehingga mengurangi risiko pembusukan akar akibat kurangnya oksigen. Namun demikian, sistem NFT juga memiliki kekurangan, terutama jika terjadi gangguan pada pompa atau saluran aliran nutrisi. Ketika sirkulasi berhenti, tanaman bisa cepat mengalami stres karena tidak mendapatkan pasokan nutrisi dan oksigen. Oleh karena itu, pemantauan terhadap kondisi sistem seperti aliran air, kadar pH, dan keberadaan endapan sangat penting agar tanaman tetap tumbuh optimal.

Dalam penelitian ini, sistem NFT dipilih karena strukturnya yang sederhana, hemat tempat, dan ideal untuk integrasi dengan sistem sirkulasi air otomatis berbasis IoT. Penggunaan sensor pH dan mikrokontroler dalam sistem NFT akan meningkatkan efisiensi pengelolaan larutan nutrisi, terutama dalam menjaga kestabilan pH air yang menjadi faktor penting dalam keberhasilan budidaya hidroponik.

2.2 PH Air dalam Sistem Hidroponik

PH air adalah salah satu parameter penting dalam pertumbuhan tanaman hidroponik. Ketika pH air pada tanaman hidroponik tidak stabil maka, pertumbuhan tanaman akan memburuk dan kualitas tanaman menjadi tidak sesuai, seperti tanaman kerdil dan jumlah daun yang sedikit (Safiroh W.P et al., 2022). Rentang pH ideal untuk tanaman hidroponik adalah antara 5,5 hingga 6,5. Berikut adalah contoh beberapa macam rentang pH yang ideal bagi tanaman hidroponik.

NAMA TANAMAN	pH	EC	PPM
Buncis	6.0	2.0-4.0	1400-2800
Brokoli	6.0-6.5	2.8-3.5	1960-2450
Paprika	6.0-6.5	1.8-2.2	1260-1540
Wortel	6.3	1.6-2.0	1120-1400
Kembang Kol	6.0-7.0	0.5-2.0	1050-1400
Seledri	6.5	1.8- 2.4	1260-1680
Ketimun	5.8-6.0	1.7-2.5	1190-1750
Terong	5.5-6.5	2.5-3.5	1750-2450
Selada	5.5-6.5	0.8-1.2	560-840
Kacang Okran	6.5	2.0-2.4	1400-1680
Bawang Merah	6.0-6.7	1.4-1.8	980-1260
Pakchoy	7.0	1.5-2.0	1050-1400
Lobak	6.0-7.0	1.6-2.2	840-1540
Bayam	5.5-6.6	1.8-2.3	1260-1610
Tomat	5.5-6.5	2.0-5.0	1400-3500
Turnip (Lobak Cina)	6.0-6.5	1.8-2.4	1260-1680
Kangkung	5.5-6.5	2.0-2.1	1050-1400
Zucchini	6.0	1.8-2.4	1260-1680
Melon	5.5-6.0	2.0-2.5	1400-1750
Stroberi	5.5-6.5	1.8-2.2	1260-1540
Semangka	5.8	1.5-2.4	1260-1680
Mint	5.5-6.0	2.0-2.4	1400-1680
Sawi	5.5-6.5	2.0-2.1	1050-1400

Gambar 2.2 Rentang Optimal PH Tanaman Hidroponik

Sumber: https://www.urbanhidroponik.com/2016/04/cara-mengukur-ph-tanaman-hidroponik.html

Ketidakseimbangan pH dapat menyebabkan defisiensi atau toksisitas unsur hara yang berdampak pada pertumbuhan tanaman, seperti klorosis (daun menguning), pembusukan akar, atau kegagalan panen (Tahir et al., 2023). Dalam rentang pH tersebut, unsur-unsur penting seperti nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan zat mikro seperti besi (Fe) dan seng (Zn) dapat diserap secara optimal oleh akar tanaman. Jika pH terlalu rendah (terlalu asam), unsur hara seperti fosfor dan kalsium menjadi tidak tersedia, bahkan bisa

menyebabkan kelebihan zat besi atau aluminium yang bersifat toksik. Sebaliknya, jika pH terlalu tinggi (basa), tanaman akan kesulitan menyerap unsur seperti besi dan mangan, sehingga memicu gejala klorosis (daun menguning) dan pertumbuhan tanaman terganggu.

Dalam sistem NFT, di mana larutan nutrisi terus bersirkulasi dalam aliran tipis dan langsung menyentuh akar, kestabilan pH menjadi sangat krusial. Karena akar tanaman langsung terpapar air, fluktuasi kecil dalam pH dapat dengan cepat mempengaruhi kondisi fisiologis tanaman. Oleh karena itu, pemantauan dan pengaturan pH secara real-time menjadi kebutuhan yang tidak bisa diabaikan. Secara konvensional, pengukuran pH dilakukan menggunakan pH meter manual dan penyesuaiannya dilakukan secara manual dengan menambahkan larutan pH up (penambah pH) atau pH down (penurun pH). Namun, cara ini memerlukan tenaga dan waktu, serta kurang praktis jika sistem hidroponik memiliki skala besar atau tersebar di beberapa lokasi. Keterlambatan dalam penyesuaian pH dapat menyebabkan stres tanaman atau bahkan kerusakan akar. Untuk menjawab tantangan ini, integrasi teknologi seperti sensor pH otomatis dan mikrokontroler menjadi solusi yang sangat efektif. Sensor pH digital dapat mendeteksi nilai pH larutan secara terus-menerus dan mengirimkan data ke sistem pusat berbasis mikrokontroler seperti ESP32. Data ini kemudian diolah untuk menentukan apakah perlu dilakukan penyesuaian pH, yang selanjutnya bisa dijalankan melalui sistem pompa otomatis yang menginjeksikan larutan pH up/down ke dalam aliran air. Dengan pengontrolan pH secara otomatis, kestabilan lingkungan nutrisi dapat lebih terjaga tanpa perlu intervensi manual terus-menerus. Selain itu, teknologi ini

memungkinkan sistem untuk mengirimkan notifikasi ke perangkat pengguna melalui website, sehingga pengguna tetap dapat mengawasi sistem dari jarak jauh.

2.3 Permasalahan dalam Sistem Hidroponik

Beberapa masalah yang umum dalam sistem hidroponik meliputi defisit oksigen terlarut, pembusukan akar akibat endapan air, serta serangan mikroorganisme seperti jamur dan virus (Pramartaningthyas et al., 2022), dan menurut (Erlangga et al., 2023) Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi perkembangan tanaman hidroponik, yakni suhu, kelembapan, ph dan ppm. Parameter yang umumnya dikontrol adalah pH air, kepekatan nutrisi, tinggi air, serta suhu dan kelembapan udara. Pengaruh pH larutan pada tanaman hidroponik adalah pengaruh daya serap tanaman untuk menyerap unsur hara pada air. Oleh karena itu, pemantauan manual terhadap pH secara terus menerus dianggap kurang efisien dan rawan keterlambatan penanganan. Meskipun sistem hidroponik menawarkan berbagai keunggulan seperti efisiensi penggunaan lahan, air, dan nutrisi, serta hasil panen yang bersih dan berkualitas tinggi, penerapannya tidak lepas dari berbagai tantangan dan permasalahan teknis yang perlu dikelola secara tepat. Tanpa pengelolaan yang baik, sistem hidroponik dapat menimbulkan kondisi yang justru merugikan pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Salah satu permasalahan utama dalam hidroponik adalah ketidakstabilan nilai pH larutan nutrisi. Karena media tanam yang digunakan tidak memiliki daya buffer seperti tanah, maka pH dalam sistem hidroponik cenderung mudah berubah. Nilai pH yang terlalu rendah (asam) atau terlalu tinggi (basa) dapat menghambat penyerapan unsur hara penting oleh akar tanaman, yang pada akhirnya menyebabkan gejala defisiensi, kerusakan jaringan, dan penurunan hasil panen. Kemudian di dalam hidroponik,

semua unsur hara yang dibutuhkan tanaman diberikan melalui larutan nutrisi. Ketidaktepatan dalam mencampur atau menakar nutrisi akan berdampak langsung pada kesehatan tanaman.

Pemberian nutrisi yang berlebihan dapat menyebabkan akumulasi garam dan meracuni tanaman, sedangkan kekurangan nutrisi akan menimbulkan pertumbuhan yang terhambat dan daun menguning.



Gambar 2.3 Gejala Tanaman Akibat PH Tidak Stabil

Sumber: https://www.producegrower.com/article/edible-crop-species-differ-in-their-ph-effect-in-hydroponics/

Gambar diatas adalah contoh akibat defisiensi atau ketidakstabilan pH pada tanaman hidroponik. Maka dari itu keberhasilan sistem hidroponik sangat bergantung pada pengawasan rutin terhadap berbagai parameter seperti pH, EC, suhu, dan volume air. Dalam praktiknya, pemantauan ini seringkali dilakukan secara manual dan memakan waktu. Minimnya waktu dan tenaga yang dimiliki oleh pelaku urban farming atau petani skala kecil dapat menyebabkan terjadinya keterlambatan dalam mendeteksi perubahan kondisi, yang akhirnya berdampak

pada kesehatan tanaman. Permasalahan-permasalahan tersebut menunjukkan bahwa meskipun hidroponik memiliki banyak potensi, keberhasilannya memerlukan sistem yang cerdas, responsif, dan mudah dikelola. Untuk itu, penulis ingin memberikan solusi berbasis teknologi seperti Internet of Things (IoT) yang dapat meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem hidroponik melalui pemantauan dan pengendalian otomatis secara real-time.

2.4 Otomatisasi dalam Sistem Pertanian

Perkembangan teknologi digital telah memberikan dampak signifikan terhadap berbagai sektor, termasuk sektor pertanian. Salah satu bentuk kemajuan teknologi tersebut adalah penerapan otomatisasi, yang bertujuan untuk mengurangi intervensi manual dan meningkatkan efisiensi dalam kegiatan pertanian. Sistem otomatisasi dibutuhkan untuk mengganti tangan manusia dengan sistem komputer yang akan memberikan kualitas obyek menjadi lebih baik (Ridwan & Sari, 2021). Otomatisasi dalam pertanian mencakup penggunaan perangkat dan sistem berbasis elektronik seperti sensor, mikrokontroler, pompa otomatis, dan aplikasi kendali jarak jauh untuk membantu mengelola proses budidaya tanaman. Dalam sistem pertanian modern, terutama sistem tanpa tanah seperti hidroponik, otomatisasi memiliki peranan penting dalam mengontrol lingkungan tumbuh tanaman secara presisi dan real-time. Sistem hidroponik sangat bergantung pada keseimbangan berbagai parameter seperti pH, nutrisi, dan sirkulasi air. Ketidakseimbangan sedikit saja dapat menyebabkan gangguan besar terhadap pertumbuhan tanaman, bahkan mengakibatkan kerusakan tanaman secara menyeluruh. Oleh karena itu, penggunaan sistem otomatis menjadi kebutuhan yang krusial, bukan hanya sebagai

penunjang, melainkan sebagai solusi utama untuk menghindari risiko kerusakan yang bersifat sistemik.

Dalam penelitian ini, otomatisasi memungkinkan pengoperasian berbagai perangkat seperti:

1. Sensor pH untuk mendeteksi tingkat keasaman larutan nutrisi secara terus-menerus,
2. Sensor suhu (DS18B20) untuk memantau suhu larutan nutrisi dan lingkungan secara berkala guna menjaga suhu tetap dalam batas optimal,
3. Pompa air dan pompa larutan pH up/down yang dapat diaktifkan secara otomatis berdasarkan hasil pembacaan sensor,
4. Mikrokontroler seperti ESP32 atau Arduino yang mengolah data dan mengontrol aktuator berdasarkan logika tertentu,
5. serta platform monitoring berbasis website, yang memungkinkan pengguna memantau dan mengontrol sistem dari jarak jauh.

Dengan otomatisasi, pemantauan kadar pH yang sebelumnya dilakukan secara manual dan berkala kini dapat dilakukan secara real-time dan berkesinambungan. Jika pH larutan keluar dari rentang optimal, maka sistem akan secara otomatis mengaktifkan pompa untuk menambahkan larutan pH up atau pH down sesuai kebutuhan. Ini memastikan kondisi pH selalu berada pada kisaran ideal (sekitar 5,5–6,5), yang penting untuk penyerapan nutrisi secara maksimal oleh akar tanaman. Otomatisasi juga berperan dalam meningkatkan efisiensi waktu dan tenaga kerja. Petani tidak lagi perlu memeriksa kondisi pH dan mengatur pompa secara manual setiap hari. Hal ini sangat membantu terutama bagi pelaku urban

farming atau petani dengan skala instalasi hidroponik yang besar. Selain itu, sistem otomatis juga dapat memberikan notifikasi atau peringatan dini kepada pengguna apabila terjadi gangguan pada sistem, seperti pompa tidak berfungsi atau pH tidak dapat distabilkan, sehingga dapat segera dilakukan tindakan.

2.5 Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) sendiri merupakan teknologi yang memungkinkan semua benda fisik ataupun virtual yang dapat dimonitor dan dikontrol dari jarak jauh menggunakan internet (Nigel et al., 2024). Perangkat-perangkat tersebut dapat berupa sensor, aktuator, mikrokontroler, dan sistem kontrol yang mampu berkomunikasi, memproses informasi, serta melakukan aksi secara otomatis berdasarkan kondisi lingkungan yang terdeteksi. IoT menjadi salah satu elemen kunci dalam pengembangan sistem otomasi modern, termasuk dalam sektor pertanian dan hidroponik.

Dalam konteks pertanian, IoT digunakan untuk membentuk sistem pertanian cerdas (smart agriculture) yang mampu mengelola lingkungan tumbuh tanaman secara presisi dan efisien. Sistem ini memungkinkan pengguna untuk memantau dan mengendalikan kondisi lingkungan secara real-time seperti suhu, kelembaban, pH air, dengan memanfaatkan sensor yang terhubung ke internet dan diakses melalui perangkat seperti smartphone atau komputer. Dalam penelitian ini, IoT digunakan untuk mengotomatisasi sistem sirkulasi air dan pengontrolan kadar pH air pada instalasi hidroponik. Penerapan IoT dilakukan melalui integrasi antara sensor pH, sensor suhu, mikrokontroler (seperti ESP32), pompa air, dan website.

Sensor pH akan membaca nilai pH air secara berkala dan mengirimkan data ke mikrokontroler. Jika nilai pH di luar batas optimal (sekitar 5,5–6,5), maka sistem akan secara otomatis mengaktifkan pompa untuk menambahkan larutan pH up atau pH down sesuai kebutuhan.

Melalui aplikasi IoT, pengguna dapat:

1. Memantau nilai pH air secara real-time melalui tampilan antarmuka digital,
2. Menerima notifikasi atau peringatan jika terjadi anomali pada sistem,
3. Mengendalikan pompa secara manual dari jarak jauh jika dibutuhkan,
4. Melihat histori data pengukuran sebagai bahan analisis perkembangan tanaman.

Salah satu keunggulan IoT adalah kemampuannya memberikan kontrol jarak jauh dan visibilitas penuh terhadap sistem. Petani atau pengguna tidak perlu hadir secara fisik di lokasi instalasi hidroponik untuk melakukan pemantauan atau pengendalian, cukup dengan membuka aplikasi yang telah terkoneksi dengan perangkat keras melalui jaringan internet. Selain efisiensi, penerapan IoT juga meningkatkan akurasi dan konsistensi dalam pemeliharaan tanaman. Sistem dapat bereaksi terhadap perubahan lingkungan dalam hitungan detik, yang tidak mungkin dicapai dengan pemantauan manual. Ini sangat penting untuk menjaga stabilitas pH dan mencegah stres tanaman yang dapat menurunkan produktivitas.

Menurut Firmansyah et al. (2024), IoT sangat cocok diterapkan dalam sistem pertanian karena fleksibilitas dan skalabilitasnya. Sistem dapat dikembangkan sesuai kebutuhan, mulai dari skala kecil di rumah hingga skala besar

di lahan pertanian industri. Bahkan, IoT dapat diintegrasikan dengan teknologi lain seperti cloud computing, big data, dan kecerdasan buatan untuk menciptakan sistem yang lebih cerdas dan adaptif. Dengan segala kemampuannya, IoT memberikan solusi praktis, efisien, dan futuristik bagi tantangan pengelolaan sistem hidroponik. Implementasi IoT tidak hanya meningkatkan produktivitas tanaman, tetapi juga mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja manual dan meningkatkan keberlanjutan sistem pertanian modern di masa depan.

2.6 Intensitas Cahaya dan Fotosintesis

Intensitas cahaya merupakan salah satu faktor lingkungan utama yang memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman, khususnya pada sistem budidaya hidroponik. Cahaya berperan sebagai sumber energi dalam proses fotosintesis, yaitu proses fisiologis tanaman dalam mengubah energi cahaya menjadi energi kimia berupa karbohidrat yang digunakan untuk pertumbuhan. Fotosintesis berlangsung secara optimal ketika tanaman memperoleh cahaya dengan intensitas dan durasi yang sesuai dengan kebutuhan fisiologisnya. Intensitas cahaya yang terlalu rendah, seperti pada kondisi cuaca mendung atau lingkungan dengan keterbatasan sinar matahari, dapat menyebabkan laju fotosintesis menurun sehingga pertumbuhan tanaman menjadi terhambat. Oleh karena itu, pengendalian intensitas cahaya menjadi salah satu aspek penting dalam menjaga keseimbangan lingkungan tumbuh tanaman.

Pada sistem hidroponik, ketergantungan terhadap cahaya matahari sering menjadi kendala karena kondisi cuaca yang tidak menentu. Untuk mengatasi hal tersebut, diperlukan sumber cahaya buatan sebagai pencahayaan tambahan, seperti

lampu UV atau grow light, yang dapat digunakan untuk menggantikan atau melengkapi cahaya matahari. Penerapan sistem pengendalian intensitas cahaya secara otomatis memungkinkan tanaman memperoleh cahaya yang stabil sesuai dengan kebutuhan fotosintesisnya. Integrasi sensor intensitas cahaya dengan sistem kendali berbasis Internet of Things (IoT) memungkinkan pemantauan kondisi pencahayaan secara real-time serta pengaktifan lampu UV secara otomatis ketika intensitas cahaya berada di bawah ambang batas yang ditentukan. Dengan demikian, proses fotosintesis dapat berlangsung secara optimal meskipun terjadi perubahan kondisi lingkungan, sehingga pertumbuhan tanaman hidroponik menjadi lebih terkontrol dan efisien.

2.7 Lampu UV / Grow Light

Lampu UV atau grow light merupakan sumber cahaya buatan yang dirancang untuk mendukung pertumbuhan tanaman dengan meniru spektrum cahaya matahari yang dibutuhkan dalam proses fotosintesis. Grow light umumnya memancarkan cahaya pada spektrum tertentu, seperti cahaya biru dan merah. Dalam sistem budidaya hidroponik, ketersediaan cahaya yang stabil sangat berpengaruh terhadap laju fotosintesis dan metabolisme tanaman. Intensitas cahaya yang tidak optimal dapat menyebabkan pertumbuhan tanaman menjadi lambat dan tidak seragam. Oleh karena itu, penggunaan grow light berfungsi untuk menjaga kestabilan pencahayaan agar tanaman tetap memperoleh energi cahaya sesuai dengan kebutuhan fisiologisnya.

Lampu UV atau grow light memiliki keunggulan dibandingkan pencahayaan konvensional karena mampu memberikan spektrum cahaya yang lebih terfokus pada kebutuhan tanaman. Selain itu, grow light dapat digunakan

secara fleksibel dan terkontrol, baik dari segi waktu penyinaran maupun intensitas cahaya yang dihasilkan. Hal ini memungkinkan penerapan sistem pencahayaan yang lebih efisien dan adaptif terhadap perubahan kondisi lingkungan. Integrasi lampu UV atau grow light dengan sistem kendali otomatis berbasis Internet of Things (IoT) memungkinkan pengoperasian lampu secara real-time berdasarkan data yang diperoleh dari sensor intensitas cahaya. Lampu akan menyala secara otomatis ketika intensitas cahaya berada di bawah ambang batas yang ditentukan dan akan mati ketika cahaya alami telah mencukupi. Dengan penerapan sistem ini, kebutuhan cahaya tanaman dapat terpenuhi secara optimal tanpa intervensi manual, sehingga mendukung pertumbuhan tanaman hidroponik yang lebih konsisten dan berkelanjutan.

2.8 Sensor pH, Sensor Suhu dan Mikrokontroler

Dalam sistem hidroponik otomatis berbasis IoT, dua komponen utama yang memiliki peran krusial dalam mendeteksi dan mengontrol kualitas larutan nutrisi adalah sensor pH dan mikrokontroler. Kedua komponen ini bekerja secara terintegrasi untuk memastikan bahwa pH air tetap dalam batas optimal demi menunjang pertumbuhan tanaman secara maksimal.

2.8.1 Sensor pH

Sensor pH merupakan perangkat elektronik yang digunakan untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasaan suatu larutan. Dalam sistem hidroponik,



Gambar 2.4 Sensor PH-4502C

sensor ini digunakan untuk memantau pH larutan nutrisi yang mengalir ke akar tanaman. Nilai pH sangat memengaruhi ketersediaan unsur hara, sehingga pengukuran yang akurat sangat diperlukan. Sensor pH umumnya bekerja berdasarkan prinsip elektrokimia, di mana sensor memiliki elektroda yang menghasilkan sinyal listrik ketika bersentuhan dengan larutan. Sinyal ini kemudian dikonversi menjadi nilai pH dalam skala 0–14. Dalam sistem hidroponik, pH ideal biasanya berkisar antara 5,5 hingga 6,5. Berikut ini adalah contoh gambar sensor pH.

Sumber: https://jogjarobotika.com/182-sensor-ph

Sensor pH yang digunakan dalam sistem otomatis biasanya memiliki spesifikasi:

1. Output analog atau digital, yang dapat dibaca oleh mikrokontroler,
2. Resistansi terhadap kelembaban dan suhu, karena digunakan dalam lingkungan basah,
3. Kalibrasi manual atau otomatis, untuk menjaga akurasi pembacaan.

Sensor ini akan secara terus-menerus membaca nilai pH dan mengirimkan data tersebut ke mikrokontroler untuk dianalisis dan diproses lebih lanjut.

2.8.2 Sensor Suhu

Sensor suhu adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengukur suhu lingkungan atau suatu objek. Sensor suhu merupakan salah satu komponen



Gambar 2.5 Sensor Suhu DS18B20

penting dalam sistem hidroponik berbasis IoT. Suhu lingkungan yang terlalu tinggi atau rendah dapat memengaruhi penyerapan nutrisi oleh tanaman dan berdampak pada metabolisme tumbuhan. (Treeratanaporn & Phairoh, 2025) menyatakan bahwa Suhu larutan yang cocok untuk sebagian besar sistem hidroponik adalah antara 18°C hingga 27°C. Dalam penelitian ini, digunakan sensor suhu DS18B20 untuk memantau suhu lingkungan secara berkala. Sensor suhu akan mengirimkan data suhu ke mikrokontroler, yang kemudian ditampilkan di website. Jika suhu berada di luar batas optimal (misalnya di atas 30°C atau di bawah 20°C), sistem akan memberikan notifikasi kepada pengguna agar dapat segera mengambil tindakan seperti menyalakan kipas atau mengatur ventilasi. Berikut ini adalah contoh gambar sensor suhu DS18B20.

Sumber: https://blog.indobot.co.id/pemantau-suhu-akuarium-menggunakan-sensor-ds18b20-dengan-iot-telegram/

Penggunaan sensor suhu dalam sistem hidroponik bertujuan untuk memantau kondisi suhu lingkungan secara berkala agar tetap berada dalam kisaran optimal yang mendukung pertumbuhan tanaman. Dengan adanya sensor suhu, pengguna dapat memperoleh informasi suhu secara real-time sehingga dapat mengambil tindakan yang tepat apabila terjadi penyimpangan suhu, seperti suhu yang terlalu tinggi atau terlalu rendah. Hal ini penting karena suhu yang ekstrem dapat menghambat proses fotosintesis dan penyerapan nutrisi oleh akar tanaman, yang pada akhirnya dapat menurunkan produktivitas dan kualitas hasil panen. Selain itu, integrasi sensor suhu dengan sistem otomatisasi dan aplikasi IoT juga memungkinkan sistem memberikan notifikasi peringatan kepada pengguna,

sehingga pengendalian suhu dapat dilakukan dengan cepat dan efisien tanpa harus melakukan pemantauan secara manual terus-menerus.

2.8.3 Mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan otak dari sistem otomasi berbasis IoT. Mikrokontroler bertugas membaca data dari sensor pH, memprosesnya, dan mengambil keputusan berdasarkan logika atau program yang ditanamkan di dalamnya. Jika nilai pH berada di luar batas yang telah ditentukan, mikrokontroler akan mengaktifkan pompa otomatis untuk menambahkan larutan pH up (peningkat pH) atau pH down (penurun pH) ke dalam larutan nutrisi.



Gambar 2.6 Mikrokontroler ESP32

Sumber: https://www.edukasielektronika.com/2019/07/arsitektur-dan-fitur-esp32-module-esp32.html

Mikrokontroler yang dipakai dalam penelitian ini adalah ESP32, karena memiliki keunggulan seperti:

1. Dilengkapi dengan Wi-Fi dan Bluetooth bawaan untuk konektivitas IoT,
2. Memiliki banyak input/output digital dan analog untuk menghubungkan berbagai sensor dan aktuator,
3. Konsumsi daya rendah dan kecepatan pemrosesan yang tinggi.

Mikrokontroler juga dapat diatur untuk mengirimkan data sensor ke server atau aplikasi sehingga pengguna dapat memantau sistem secara real-time melalui smartphone. Dalam banyak kasus, mikrokontroler dikombinasikan dengan modul relay, driver motor, atau modul Wi-Fi tambahan untuk mengontrol perangkat-perangkat lain seperti pompa air, solenoid valve, atau pencampur larutan.

2.8.4 Integrasi Sensor dan Mikrokontroler

Sensor pH dan mikrokontroler membentuk sistem tertutup yang dapat beroperasi secara mandiri. Alur kerja sistem secara umum sebagai berikut:

1. Sensor pH mendeteksi nilai keasaman air nutrisi.
2. Sensor suhu (DS18B20) mendeteksi suhu larutan nutrisi secara berkala.
3. Nilai pH dan suhu dikirim ke mikrokontroler.
4. Mikrokontroler menganalisis apakah nilai-nilai tersebut berada dalam rentang ideal (pH : 5,5–6,5 dan suhu : 20°C–30°C).
5. Jika nilai pH tidak sesuai, mikrokontroler mengaktifkan pompa untuk menambahkan larutan penyeimbang pH.
6. Jika suhu berada di luar batas optimal, sistem mengirimkan notifikasi peringatan ke aplikasi agar petani dapat segera melakukan tindakan.
7. Data dikirim ke website agar pengguna dapat memantau atau mengontrol secara manual jika diperlukan.

Integrasi ini menjadikan sistem hidroponik lebih responsif, hemat waktu, dan presisi, serta dapat berjalan secara otomatis tanpa pengawasan langsung secara terus-menerus. Dengan demikian, kombinasi antara sensor pH dan mikrokontroler

sangat vital dalam pengembangan sistem pertanian cerdas berbasis Internet of Things.

2.9 Sistem Sirkulasi Air Otomatis

Sistem sirkulasi air merupakan komponen inti dalam budidaya hidroponik, karena air berfungsi sebagai media utama untuk menyalurkan larutan nutrisi ke akar tanaman. Dalam sistem ini, air tidak hanya menjadi sarana transportasi unsur hara, tetapi juga menjadi faktor lingkungan yang memengaruhi kadar oksigen, suhu, dan keasaman. Oleh karena itu, pengelolaan sirkulasi air secara otomatis menjadi kunci untuk menjaga kestabilan pertumbuhan tanaman dan mencegah kerusakan sistem secara menyeluruh.

2.9.1 Konsep Dasar Sirkulasi Air dalam Hidroponik

Sirkulasi air dalam hidroponik bertujuan untuk menjaga:

1. Ketersediaan nutrisi secara merata, agar setiap akar tanaman mendapatkan asupan yang sama,
2. Pergerakan air yang berkelanjutan, sehingga tidak terjadi genangan atau stagnasi,
3. Aerasi larutan, yaitu menjaga oksigen terlarut agar akar tidak mengalami hipoksia,
4. Kestabilan parameter lingkungan, seperti suhu dan pH.

Tanpa sirkulasi yang baik, akar tanaman dapat mengalami kekurangan oksigen atau kelebihan air, yang bisa memicu pembusukan. Selain itu, penumpukan

nutrisi atau pengendapan dalam sistem dapat menurunkan efektivitas penyerapan zat hara.

2.9.2 Peran Otomatisasi dalam Sirkulasi Air

Dalam sistem hidroponik modern, proses sirkulasi air dapat dikontrol secara otomatis menggunakan pompa air yang terhubung ke timer, sensor level air, mikrokontroler, atau bahkan sistem berbasis Internet of Things (IoT). Sistem ini bekerja berdasarkan logika pemrograman untuk mengatur kapan dan berapa lama air dialirkan.

Contoh fungsi otomatisasi dalam sirkulasi air meliputi:

1. Mengatur interval aliran air secara berkala sesuai kebutuhan tanaman (misalnya 15 menit setiap jam),
2. Menyesuaikan durasi sirkulasi berdasarkan suhu lingkungan atau tingkat evapotranspirasi,
3. Mendeteksi ketinggian air, dan mengaktifkan pompa jika volume air kurang,
4. Mengaktifkan sistem pH control, yang menambahkan larutan pH up/down saat pH keluar dari ambang batas.

Dengan sistem otomatis, sirkulasi air akan berjalan lebih efisien karena tidak bergantung pada intervensi manual. Sistem juga lebih konsisten dalam menjaga kestabilan nutrisi, mengurangi stres tanaman, dan mencegah pemborosan energi dan air.

2.9.3 Komponen Sistem Sirkulasi Air Otomatis

Beberapa komponen penting dalam sistem sirkulasi air otomatis antara lain:

1. Pompa air, berfungsi sebagai penggerak utama aliran larutan nutrisi,
2. Pipa atau saluran, untuk mendistribusikan air ke seluruh tanaman,
3. Timer atau relay otomatis, untuk mengatur waktu hidup-mati pompa secara berkala,
4. Sensor air atau float switch, untuk mendeteksi ketinggian atau keberadaan air dalam tangki,
5. Kontroler (mikrokontroler), sebagai pusat pemrosesan data dan pengambilan keputusan otomatis,
6. Tangki nutrisi, sebagai sumber larutan utama yang akan disirkulasikan.

Integrasi sistem ini dapat dibuat lebih cerdas dengan menghubungkannya ke aplikasi berbasis IoT. Data seperti status pompa, durasi sirkulasi, dan parameter air dapat ditampilkan secara langsung melalui website agar memungkinkan pengguna untuk melakukan pemantauan dan penyesuaian dari jarak jauh.

2.9.4 Manfaat Sistem Sirkulasi Air Otomatis

Beberapa keuntungan utama dari penggunaan sistem sirkulasi air otomatis dalam hidroponik antara lain:

1. Meningkatkan efisiensi penggunaan air dan energi,
2. Menjamin ketersediaan nutrisi dan oksigen secara konsisten,
3. Meminimalkan kesalahan manusia dalam pengaturan sirkulasi,
4. Mengurangi risiko kerusakan tanaman akibat genangan atau kekeringan,

5. Mempermudah pemeliharaan sistem, terutama pada skala besar atau jarak jauh.

Dengan menerapkan sirkulasi air otomatis yang terintegrasi dengan sensor dan mikrokontroler berbasis IoT, sistem hidroponik dapat bekerja secara cerdas dan mandiri. Hal ini sangat mendukung konsep pertanian presisi dan efisien, yang mampu meningkatkan hasil produksi dengan biaya dan tenaga kerja yang lebih minimal.

2.10 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu telah memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan sistem pertanian hidroponik berbasis IoT. Penelitian oleh Firmansyah et al. (2024) menitikberatkan pada penerapan Internet of Things (IoT) secara umum dalam meningkatkan produktivitas tanaman hidroponik. Sistem yang dikembangkan lebih bersifat makro dan menyasar peningkatan hasil panen serta efisiensi air dan nutrisi dalam skala UMKM, namun belum secara spesifik membahas kontrol otomatis terhadap parameter krusial seperti pH. Sementara itu, (Andini Septya Ningrum, 2024) menyatakan bahwa radiasi UV, sebagai bagian dari radiasi non-ionizing, memiliki peran penting dalam mendukung proses fotosintesis dan pertumbuhan tanaman hidroponik, namun belum mengintegrasikan dengan sistem kendali dan pemantauan berbasis IoT. Penelitian ketiga oleh Pramartaningtyas et al. (2022) menggunakan sistem hidroponik DFT untuk menganalisis performa kendali pH dan TDS berbasis IoT dengan mikrokontroler Arduino. Meskipun telah mengimplementasikan otomatisasi kontrol nutrisi dan pH dalam jangka waktu cukup panjang (23 hari), sistem ini masih berbasis Arduino

UNO dan menggunakan pendekatan konvensional dengan keterbatasan dalam konektivitas serta belum menekankan kemampuan kendali real-time secara responsif melalui smartphone.

Tabel 2.1 Penelitian terdahulu

No	Nama dan Tahun Penelitian	Judul	Hasil Penelitian
1	Firmansyah, Bayu Wibisana, Yusuf Hendra Pratama , Muhammad Ziad Iqbal, Rifqi Sulthon Abqari. (2024)	Pertanian Cerdas Berbasis Internet of Things untuk Meningkatkan Produktivitas Tanaman Hidroponik	Penerapan IoT dalam sistem hidroponik meningkatkan produktivitas tanaman hingga 40%, mempercepat waktu panen sebesar 25%, serta mengurangi penggunaan air dan nutrisi masing-masing sebesar 30% dan 25%. Sistem ini membantu UMKM meningkatkan efisiensi dan hasil pertanian.
2	Andini Septya Ningrum, Najihah Meilani Putri, Nur Azizatul Jannah, Sudarti, Firdha Kusuma Ayu Anggraeni. (2024)	Analisis Penggunaan Sinar Ultra Violet (UV) Pada Tanaman Hidroponik	Radiasi ultraviolet memiliki potensi besar dalam meningkatkan produktivitas, kualitas tanaman, dan ketahanan sistem hidroponik, asalkan diterapkan dengan manajemen spektrum dan intensitas yang tepat serta mempertimbangkan keseimbangan ekosistem hidroponik secara menyeluruh.
3	Ellys Kumala Pramartaningthyas, Siti Ma'shumah, M Ihsanul Fuad. (2022)	Analisis Performa Sistem Kendali pH dan TDS Terlarut Berbasis Internet of Things pada Sistem Hidroponik DFT	Sistem IoT mampu mengontrol pH (5.5–6.5) dan TDS (1050–1400 ppm) secara otomatis dengan menggunakan Arduino dan ESP8266. Penerapan sistem ini mendukung pertumbuhan kangkung dengan tinggi mencapai 38 cm dalam 23 hari serta menurunkan risiko kerusakan tanaman akibat pH/TDS tidak stabil.

Kebaruan dari penelitian ini tidak hanya memantau kondisi pH dan suhu, tetapi juga menambahkan pengendalian intensitas cahaya berbasis sensor cahaya. Lampu UV atau grow light diaktifkan secara otomatis ketika intensitas cahaya matahari tidak mencukupi, sehingga proses fotosintesis tanaman tetap berlangsung optimal meskipun terjadi perubahan kondisi cuaca. Aspek ini belum banyak diterapkan secara terintegrasi pada penelitian hidroponik berbasis IoT sebelumnya. Selain itu, system ini akan dirancang untuk diakses dan dikontrol secara jarak jauh melalui website, serta meminimalisir intervensi manual melalui otomatisasi penuh, menjadikannya solusi yang lebih praktis, presisi, dan sesuai dengan kebutuhan urban farming skala kecil hingga menengah. Dengan pendekatan ini, penelitian ini penulis menawarkan sistem yang lebih adaptif, efisien, dan mudah diimplementasikan dalam skenario pertanian modern yang berbasis teknologi cerdas.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan jenis penelitian eksperimen dengan pendekatan rekayasa sistem (*system development research*). Penelitian eksperimen dipilih karena berfokus pada perancangan, pembangunan, dan pengujian kinerja suatu sistem baru, yakni sistem sirkulasi air otomatis berbasis Internet of Things (IoT) pada instalasi hidroponik tipe NFT (*Nutrient Film Technique*) yang mampu memantau dan mengontrol kadar pH air secara *real-time*.

Pendekatan rekayasa sistem dipilih karena penelitian ini tidak hanya melakukan pengujian, tetapi juga melibatkan proses pengembangan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*), integrasi antar komponen, serta evaluasi terhadap kinerja sistem yang dihasilkan. Pendekatan ini memungkinkan terciptanya produk akhir yang aplikatif, efisien, dan dapat diimplementasikan secara langsung dalam sistem pertanian hidroponik modern.

Tahapan dalam pendekatan ini meliputi:

1. Analisis Kebutuhan Sistem

   Pada tahap ini dilakukan identifikasi permasalahan yang umum terjadi pada sistem hidroponik konvensional, khususnya terkait pemantauan dan pengendalian kadar pH air. Hasil analisis digunakan untuk menentukan

kebutuhan teknis, meliputi pemilihan jenis sensor, mikrokontroler, aktuator, media tanam, serta platform IoT yang akan digunakan.

2. Perancangan Sistem

   Perancangan dilakukan dengan menyusun rancangan diagram blok, *flowchart*, dan *use case diagram* yang merepresentasikan alur kerja serta hubungan antar komponen sistem. Tahap ini juga mencakup perencanaan tata letak instalasi hidroponik NFT, penempatan sensor, aktuator, jalur pipa sirkulasi, serta rancangan perangkat lunak yang akan digunakan untuk kendali dan pemantauan jarak jauh.

3. Implementasi Sistem

   Tahap ini mencakup proses perakitan prototype komponen perangkat keras dengan ukuran 70×40cm, seperti sensor pH, sensor suhu DS18B20, sensor cahaya, mikrokontroler ESP32, pompa air, pompa *pH up/down*, lampu UV,dan modul relay. Selain itu, dilakukan pemrograman mikrokontroler menggunakan *Arduino IDE* untuk mengatur pembacaan sensor, mengendalikan aktuator, serta mengintegrasikan sistem dengan website sebagai media pemantauan dan pengendalian. Bisa dilihat gambar 3.1 dibawah ini:



Gambar 3.1 Contoh Prototype

4. Pengujian dan Evaluasi

   Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa sistem bekerja sesuai rancangan,

mampu menjaga kestabilan pH dalam rentang optimal (5,5–6,5), serta memberikan notifikasi dan kendali jarak jauh secara *real-time*. Evaluasi mencakup pengukuran akurasi sensor, kecepatan respon sistem terhadap perubahan pH, efisiensi kerja sistem, serta perbandingan kinerja antara sistem otomatis dan metode manual.

Melalui metode eksperimen dengan pendekatan rekayasa sistem ini, diharapkan penelitian mampu menghasilkan prototipe sistem sirkulasi air otomatis berbasis IoT yang efektif, efisien, dan memiliki tingkat akurasi tinggi dalam pengendalian pH air, sehingga dapat menjadi solusi teknologi yang tepat guna bagi pengembangan pertanian hidroponik modern.

3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada instalasi hidroponik skala kecil berbasis sistem *Nutrient Film Technique* (NFT) yang dirancang khusus untuk pengujian, berlokasi di rumah peneliti yang beralamat di Gg. Merak, Pasar III, Tegal Rejo, Kota Medan. Pemilihan lokasi didasarkan pada ketersediaan fasilitas yang memadai, meliputi sumber listrik, jaringan internet, serta ruang yang aman dan terkendali untuk perakitan dan pengujian perangkat. Penelitian dilaksanakan selama kurang lebih 2 bulan, terhitung dari awal bulan Juli sampai awal bulan September yang mencakup tahap persiapan, perancangan, implementasi, pengujian, hingga evaluasi sistem. Tahap persiapan meliputi pengumpulan referensi dan perancangan sistem, tahap implementasi meliputi perakitan perangkat keras dan pemrograman, tahap pengujian difokuskan pada pengukuran kinerja sensor dan

sistem kendali otomatis, sedangkan tahap evaluasi bertujuan menganalisis efektivitas sistem dalam menjaga kestabilan pH air.

3.3 Alat dan Bahan

Penelitian ini memerlukan seperangkat alat dan bahan yang digunakan untuk mendukung proses perancangan, implementasi, dan pengujian sistem sirkulasi air otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) pada instalasi hidroponik NFT. Alat yang digunakan terdiri dari perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*), sedangkan bahan yang digunakan meliputi media tanam, larutan pH, serta tanaman uji. Perangkat keras yang digunakan meliputi sensor pH untuk mengukur tingkat keasaman larutan nutrisi, sensor suhu DS18B20 untuk memantau suhu larutan, Sensor intensitas cahaya digunakan untuk mengukur tingkat pencahayaan yang diterima tanaman. Data dari sensor ini menjadi acuan dalam pengaktifan lampu UV atau grow light secara otomatis ketika intensitas cahaya alami tidak mencukupi, lampu UV atau grow light berfungsi sebagai sumber cahaya tambahan untuk mendukung proses fotosintesis tanaman. Lampu ini diaktifkan secara otomatis berdasarkan hasil pembacaan sensor intensitas cahaya, mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali dan pengolah data, pompa air untuk sirkulasi larutan, pompa pH up/down untuk penyesuaian kadar pH, modul relay sebagai pengendali pompa, serta rangkaian pipa dan talang NFT sebagai media aliran larutan. Selain itu, digunakan tangki nutrisi sebagai penampung larutan, kabel penghubung, adaptor daya, dan peralatan pendukung lainnya.

Perangkat lunak yang digunakan adalah Arduino IDE untuk proses pemrograman mikrokontroler, website sebagai antarmuka pemantauan dan kendali

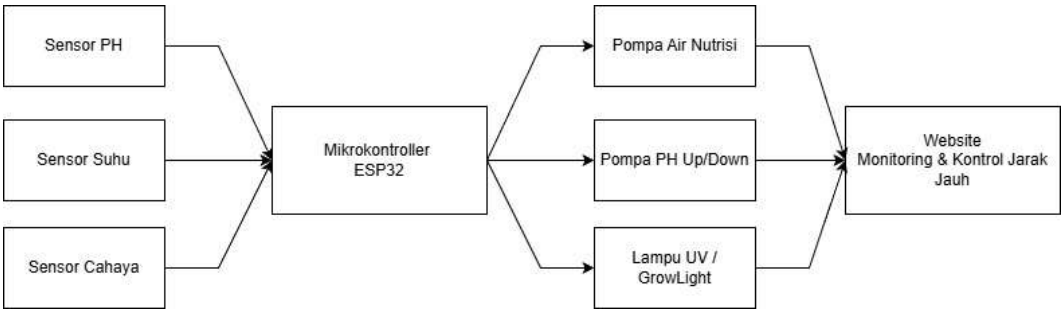
jarak jauh, serta pustaka (*library*) pendukung untuk integrasi sensor dan konektivitas IoT.

Bahan yang digunakan dalam penelitian meliputi bibit tanaman pakcoy (*Brassica rapa var. chinensis*) yang dipilih karena pertumbuhan relatif cepat dan responsive terhadap perubahan kondisi lingkungan, larutan nutrisi hidroponik sesuai standar pertumbuhan tanaman, serta larutan pH up dan pH down untuk pengaturan keasaman larutan. Kombinasi alat dan bahan ini dirancang agar dapat bekerja secara terintegrasi, sehingga sistem mampu memantau dan mengontrol pH air secara otomatis dan *real-time* sesuai kebutuhan penelitian.

3.4 Perancangan Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem merupakan representasi visual dari hubungan antar komponen utama yang digunakan dalam sistem sirkulasi air otomatis dalam mengontrol kadar pH air pada tanaman hidroponik. Diagram blok sistem ini menggambarkan rancangan sistem sirkulasi air otomatis berbasis Internet of Things (IoT) pada instalasi hidroponik tipe *Nutrient Film Technique* (NFT) yang berfungsi untuk memantau dan mengendalikan pH air secara *real-time*. Sistem ini diawali oleh sensor pH yang mengukur tingkat keasaman larutan nutrisi,sensor suhu DS18B20 yang memantau suhu larutan dan sensor intensitas cahaya yang mengukur tingkat pencahayaan yang diterima tanaman . Data dari ketiga sensor ini dikirimkan ke mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pemrosesan. ESP32 bertugas menganalisis data, menentukan apakah pH berada dalam rentang optimal (5,5–6,5), serta memberikan perintah pengendalian pompa jika diperlukan. Mikrokontroler ini juga memiliki konektivitas Wi-Fi yang memungkinkan integrasi dengan website,

sehingga pengguna dapat memantau kondisi pH dan suhu larutan, menerima notifikasi peringatan, serta melakukan kontrol manual dari jarak jauh. Dengan adanya integrasi antara sensor, mikrokontroler, aktuator, dan website monitoring, sistem yang dirancang mampu mengelola sirkulasi air, kestabilan pH, suhu, dan intensitas cahaya secara otomatis. Hal ini menjadikan sistem hidroponik lebih efisien, adaptif, dan mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal. Bisa dilihat pada gambar 3.2 dibawah ini:



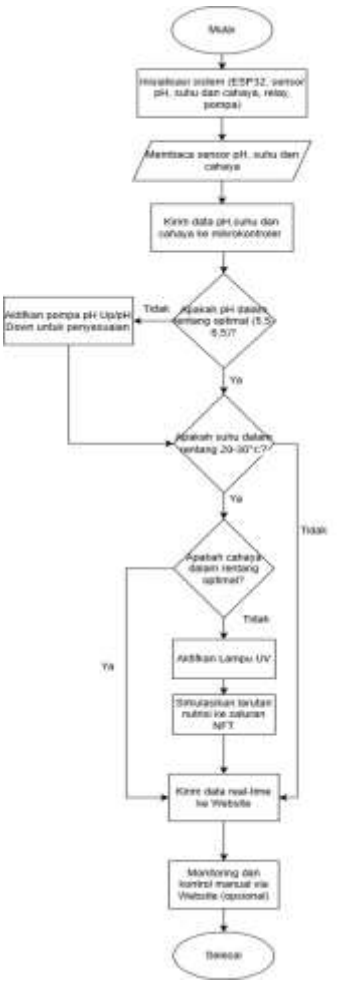
Gambar 3.2 Diagram Blok System

Sumber: draw.io

3.5 Perancangan Flowchart Sistem

Flowchart sistem ini menggambarkan alur kerja pengendalian dan pemantauan parameter pH serta suhu pada sistem hidroponik berbasis IoT menggunakan mikrokontroler ESP32. Proses dimulai dengan inisialisasi sistem, meliputi aktivasi ESP32, sensor pH, sensor suhu, modul relay, dan pompa. Selanjutnya, sensor pH dan suhu akan membaca nilai parameter dari larutan nutrisi. Data hasil pembacaan tersebut kemudian dikirim ke mikrokontroler untuk dianalisis. Mikrokontroler melakukan evaluasi pertama dengan memeriksa apakah nilai pH berada dalam rentang optimal, yaitu 5,5–6,5. Apabila nilai pH tidak sesuai,

sistem akan mengaktifkan pompa pH Up atau pH Down guna melakukan penyesuaian, kemudian proses pembacaan dilakukan kembali. Jika nilai pH sudah optimal, evaluasi berlanjut pada parameter suhu untuk memastikan nilainya berada dalam kisaran 20–30 °C. Evaluasi selanjutnya, pada parameter Intensitas cahaya, apabila cahaya berada dalam kondisi tidak optimal maka lampu uv akan di aktifkan dan sistem akan menjalankan sirkulasi larutan nutrisi menuju saluran NFT. Data real-time dari sensor akan dikirim ke website untuk pemantauan jarak jauh. Pengguna juga dapat melakukan kontrol manual melalui website tersebut jika diperlukan. Proses berakhir setelah seluruh parameter berada pada kondisi ideal dan sistem berjalan stabil. Bisa dilihat pada gambar 3.3 dibawah ini:

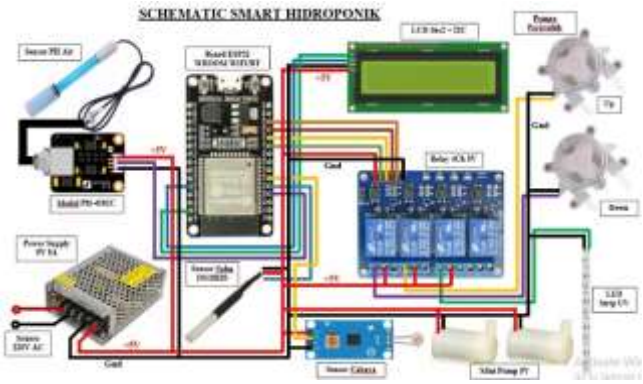


Gambar 3.3 Flowchart System

Sumber: draw.io

3.6 Skema Rancangan Sistem

Gambar 3.4 ini menunjukkan sistem sirkulasi air dan pengendalian pH larutan nutrisi berbasis Internet of Things (IoT) yang terintegrasi secara otomatis. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32 WROOM sebagai pusat kendali yang bertugas membaca data dari sensor pH air melalui modul PH-4502C, mengolah data tersebut, serta mengendalikan aktuator berdasarkan logika yang telah diprogram. Sensor pH berfungsi untuk mendeteksi tingkat keasaman larutan nutrisi, sedangkan sensor suhu digunakan untuk mengukur suhu air atau lingkungan sekitar tanaman. Sensor cahaya digunakan untuk mendeteksi intensitas cahaya yang diterima oleh tanaman.. Modul relay 4 channel 5V digunakan sebagai perantara antara ESP32 dan mini pump 5V, yang berfungsi sebagai aktuator untuk sirkulasi air dan penyesuaian larutan pH. Selain itu, LCD 16x2 dengan modul I2C digunakan sebagai media tampilan lokal untuk menampilkan informasi nilai pH dan status kerja sistem. Seluruh rangkaian memperoleh suplai daya dari power supply 5V 5A yang mengonversi tegangan AC 220V menjadi DC 5V, dengan jalur ground yang terhubung secara bersama untuk menjaga kestabilan sistem. Dengan rancangan ini, sistem hidroponik mampu bekerja secara otomatis dalam memantau dan mengontrol pH larutan nutrisi secara berkelanjutan, sehingga dapat meningkatkan efisiensi pengelolaan dan mendukung pertumbuhan tanaman hidroponik secara optimal.



Gambar 3.4 Skema Rancangan Sistem

3.7 Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data merupakan langkah penting dalam penelitian ini untuk memperoleh informasi yang akurat, relevan, dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Data yang dikumpulkan terdiri dari data primer dan data sekunder, yang masing-masing diperoleh melalui tahapan yang terencana dengan cermat.

1. Data Primer

   Data primer diperoleh langsung melalui pengujian sistem hidroponik NFT berbasis IoT yang dirancang dalam penelitian ini. Data yang dicatat meliputi hasil pembacaan sensor pH, sensor suhu (DS18B20) dan sensor intensitas cahaya, status kerja aktuator seperti pompa sirkulasi dan pompa pH up/down, serta waktu respons sistem dalam melakukan penyesuaian nilai pH larutan. Data primer ini dikumpulkan secara otomatis melalui mikrokontroler ESP32 yang merekam dan mengirimkan informasi ke website dalam interval tertentu. Dengan demikian, seluruh proses pencatatan bersifat real-time dan sistematis, sehingga dapat meminimalkan adanya kesalahan pencatatan manual.

2. Data Sekunder

Selain data primer, penelitian ini juga menggunakan data sekunder yang diperoleh melalui studi literatur dari berbagai sumber, antara lain buku, jurnal ilmiah, artikel penelitian terdahulu, serta dokumen teknis seperti *datasheet* sensor dan modul elektronik yang digunakan. Data sekunder ini berfungsi untuk memperkuat dasar teori penelitian, memberikan pembanding dalam analisis, serta memastikan bahwa rancangan sistem yang dibuat sesuai dengan standar teknis dan teori yang berlaku.

3. Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan beberapa teknik. Pertama, pencatatan otomatis (*automatic logging*) menggunakan ESP32 yang terhubung ke website, di mana data sensor dicatat secara berkala dan disimpan dalam format digital. Kedua, observasi langsung dilakukan oleh peneliti untuk memverifikasi kondisi fisik sistem, kestabilan aliran larutan, serta tampilan hasil monitoring pada aplikasi. Ketiga, dilakukan pengukuran pembanding menggunakan alat ukur manual, yaitu pH meter standar yang telah dikalibrasi dan termometer digital, untuk memastikan validitas hasil sensor yang digunakan dalam sistem. Selain itu, dokumentasi berupa foto, video, serta *screenshot* aplikasi juga dilakukan sebagai bukti visual terhadap kinerja sistem.

4. Instrumen Penelitian

Instrumen yang digunakan meliputi mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali, sensor pH, sensor suhu DS18B20, pompa air, modul relay, serta website sebagai antarmuka monitoring jarak jauh. Agar instrumen bekerja dengan akurat, dilakukan proses kalibrasi sensor pH dengan larutan buffer

standar pH 4, 7, dan 10 sebelum digunakan dalam pengambilan data. Kalibrasi ini penting untuk memastikan bahwa setiap data yang diperoleh memiliki tingkat akurasi yang tinggi dan dapat dipertanggungjawabkan.

5. Prosedur Pengumpulan Data

Prosedur pengumpulan data dimulai dengan menyiapkan instalasi sistem hidroponik NFT dan memastikan seluruh perangkat keras serta perangkat lunak berfungsi dengan baik. Selanjutnya, dilakukan uji coba dengan beberapa skenario, misalnya ketika pH larutan berada di bawah atau di atas setpoint. Pada kondisi tersebut, sistem akan memberikan respons berupa aktivasi pompa pH up atau pH down untuk menyesuaikan nilai pH. Seluruh proses ini direkam secara otomatis oleh sistem dan diverifikasi melalui pengukuran manual. Data hasil pengujian kemudian diolah dan dianalisis untuk mengetahui akurasi sensor, kecepatan respons sistem, serta kestabilan pengendalian parameter.

Dengan metode pengumpulan data yang terstruktur ini, penelitian diharapkan mampu menghasilkan data yang valid, reliabel, dan sesuai dengan tujuan penelitian, yakni merancang serta menguji sistem hidroponik NFT berbasis IoT dengan kemampuan pengendalian otomatis pH larutan.

3.8 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini disusun secara sistematis agar tahapan penelitian dapat dilaksanakan secara terarah dan menghasilkan data yang valid. Prosedur penelitian ini dibagi menjadi tiga tahap utama, yaitu tahap persiapan, tahap pelaksanaan, dan tahap evaluasi. Pada tahap persiapan, peneliti melakukan studi literatur terkait sistem hidroponik NFT, prinsip kerja sensor pH, sensor suhu, serta

teknologi Internet of Things (IoT) yang digunakan. Selanjutnya, dilakukan perancangan sistem yang mencakup pembuatan diagram blok, flowchart, serta desain perangkat keras dan perangkat lunak. Tahap ini juga mencakup persiapan alat dan bahan, seperti mikrokontroler ESP32, sensor pH, sensor suhu DS18B20, pompa air, modul relay, wadah larutan nutrisi, serta instalasi hidroponik NFT. Selain itu, dilakukan pula kalibrasi awal terhadap sensor pH dengan larutan buffer standar agar hasil pengukuran akurat.

Tahap berikutnya adalah pelaksanaan penelitian. Pada tahap ini, sistem dirakit sesuai dengan rancangan yang telah dibuat. Sensor dipasang pada posisi yang sesuai untuk mendeteksi kondisi larutan nutrisi, sementara aktuator (pompa sirkulasi dan pompa pH up/down) dikonfigurasi agar dapat dikendalikan melalui mikrokontroler ESP32. Selanjutnya, perangkat lunak dikembangkan untuk membaca data sensor, mengolah data, serta mengirimkan informasi ke website. Setelah sistem terpasang, dilakukan serangkaian uji coba untuk mengamati kinerja sistem, meliputi pembacaan pH dan suhu, pengiriman data ke aplikasi, serta respons sistem ketika terjadi deviasi nilai pH dari batas optimal. Data yang diperoleh dicatat secara otomatis melalui aplikasi dan juga diverifikasi dengan pengukuran manual. Tahap terakhir adalah evaluasi dan analisis hasil. Pada tahap ini, data hasil pengujian dianalisis untuk menilai akurasi sensor, keandalan sistem dalam menjaga pH pada kisaran 5,5–6,5, serta efektivitas pengendalian otomatis yang dijalankan oleh mikrokontroler. Evaluasi juga dilakukan terhadap kestabilan koneksi IoT dan kemudahan monitoring melalui website. Berdasarkan hasil analisis tersebut, peneliti menyusun kesimpulan mengenai sejauh mana sistem yang dibangun dapat menjawab tujuan penelitian.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Implementasi Sistem

Implementasi sistem dilakukan dengan mengintegrasikan seluruh komponen perangkat keras dan perangkat lunak menjadi satu kesatuan sistem hidroponik berbasis Internet of Things (IoT). Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali yang menghubungkan sensor dan aktuator serta mengirimkan data ke server untuk ditampilkan melalui web. Pada tahap implementasi, sensor pH, sensor suhu, dan sensor cahaya dipasang pada instalasi hidroponik untuk membaca kondisi lingkungan secara real-time. Data yang diperoleh dari sensor kemudian diproses oleh ESP32 berdasarkan logika yang telah diprogram.

Sistem dirancang untuk menjaga nilai pH pada rentang 6,5–7,5. Jika nilai pH berada di bawah 6,5 maka pompa pH up akan aktif, sedangkan jika nilai pH di atas 7,5 maka pompa pH down akan aktif. Sensor suhu digunakan untuk memantau kondisi suhu larutan nutrisi, sedangkan sensor cahaya berfungsi untuk mengontrol lampu UV yang akan menyala secara otomatis ketika intensitas cahaya rendah. Seluruh data sensor dikirimkan ke server melalui jaringan internet dan ditampilkan dalam bentuk dashboard berbasis web. Melalui dashboard tersebut, pengguna dapat memantau nilai pH, suhu, serta melakukan kontrol manual terhadap pompa dan lampu jika diperlukan.

Dengan implementasi ini, sistem mampu bekerja secara otomatis dalam menjaga kondisi lingkungan tanaman, serta memberikan kemudahan bagi pengguna dalam melakukan monitoring dan pengendalian dari jarak jauh.



Gambar 4.1 Sistem Sirkulasi Air Otomatis Berbasis IoT dalam Mengontrol Kadar Ph Air Pada Tanaman Hidroponik

4.2 Hasil Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk mengetahui kinerja dan keakuratan dari setiap komponen yang digunakan, serta memastikan sistem dapat bekerja sesuai dengan perancangan. Pengujian meliputi sensor pH, sensor suhu, sensor cahaya, sistem kontrol otomatis, serta sistem monitoring berbasis web.

4.2.1 Pengujian Sensor PH

Pengujian sensor pH dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor dengan alat ukur pH meter sebagai pembanding.

Tabel 4.1 Pengujian Sensor PH

No	Sensor PH	PH Meter

1	6.6	6.5
2	7.0	6.9
3	7.4	7.3

Berdasarkan hasil pengujian, sensor pH menunjukkan tingkat akurasi yang baik dengan selisih rata-rata ±0,1.

4.2.2 Pengujian Sensor Suhu

Pengujian sensor suhu dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor DS18B20 dengan termometer digital.

Tabel 4.2 Pengujian Sensor Suhu

No	Sensor Suhu	Termometer
1	26°C	26°C
2	28°C	27°C
3	29°C	29°C

Hasil menunjukkan bahwa sensor suhu memiliki tingkat akurasi yang baik dan stabil.

4.2.3 Pengujian Sensor Cahaya

Pengujian sensor cahaya dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam mendeteksi perubahan intensitas cahaya lingkungan.

Tabel 4.3 Pengujian Sensor Cahaya

No	Kondisi Cahaya	Nilai Sensor	Keterangan

1	Gelap	Rendah	Lampu ON
2	Redup	Sedang	Lampu ON
3	Terang	Tinggi	Lampu OFF

Sensor cahaya mampu mendeteksi perubahan intensitas cahaya dengan baik.

4.2.4 Pengujian Sistem Kontrol PH Otomatis

Pengujian dilakukan untuk mengetahui respon sistem terhadap perubahan nilai pH di luar batas normal (6,5–7,5).

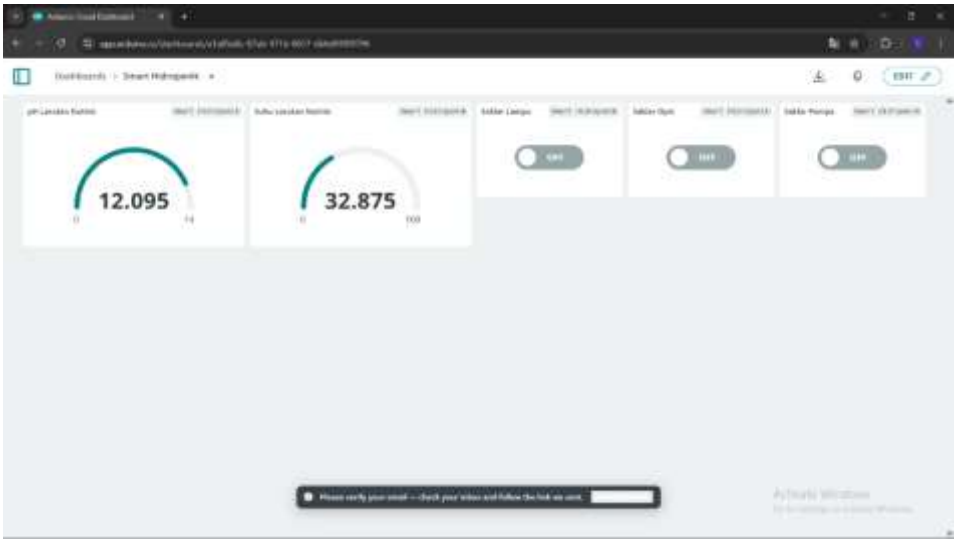
Tabel 4.4 Pengujian Sistem Kontrol PH Otomatis

No	Kondisi PH Awal	Respon Sistem	Waktu Respon
1	6.0	Pompa PH UP Aktif	±20 detik
2	8.0	Pompa PH Down Aktif	±20 detik

Sistem mampu merespon perubahan pH dengan baik dan mengembalikannya ke rentang normal.

4.2.4 Pengujian Sistem Monitoring Berbasis Web

Pengujian sistem monitoring berbasis web dilakukan untuk memastikan bahwa data dari sensor dapat ditampilkan secara real-time serta memastikan fitur kontrol sistem dapat berjalan dengan baik melalui antarmuka web.



Gambar 4.2 Dashboard Monitoring Berbasis Web

Pada pengujian ini, mikrokontroler ESP32 mengirimkan data hasil pembacaan sensor pH, suhu ke server melalui jaringan internet. Data tersebut kemudian ditampilkan dalam bentuk dashboard web yang dapat diakses melalui browser oleh pengguna. Berdasarkan hasil pengujian, sistem monitoring berbasis web mampu menampilkan data secara real-time dengan tampilan yang informatif dan mudah dipahami. Parameter yang ditampilkan meliputi nilai pH larutan nutrisi, suhu, beserta status perangkat seperti pompa. Selain fungsi monitoring, sistem juga menyediakan fitur kontrol manual yang memungkinkan pengguna untuk mengaktifkan atau menonaktifkan perangkat seperti pompa dan lampu secara langsung melalui web. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perintah yang diberikan melalui web dapat diterima dan dieksekusi oleh sistem dengan baik. Dari sisi performa, waktu keterlambatan (delay) pengiriman data dari ESP32 ke web berkisar antara 1 hingga 3 detik, tergantung pada kualitas koneksi internet yang digunakan. Nilai delay tersebut masih dalam batas yang dapat diterima untuk sistem monitoring real-time.

Dengan demikian, sistem monitoring berbasis web yang dikembangkan telah mampu berfungsi dengan baik dalam menampilkan data sensor serta memberikan kemudahan bagi pengguna dalam melakukan pengawasan dan pengendalian sistem hidroponik secara jarak jauh.

4.3 Skenario Pengujian Sistem

Pada penelitian ini skenario pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam mengontrol kadar pH air secara otomatis berdasarkan kondisi yang berbeda. Pengujian dibagi menjadi tiga skenario, yaitu kondisi pH tinggi, pH rendah, dan pH stabil.

4.3.1 Skenario Pengujian Ph Tinggi

Skenario pengujian pH tinggi dilakukan untuk mengetahui respon sistem ketika nilai pH air berada di atas batas optimal yang telah ditentukan yaitu ph air antara 6.5 -7. Terlihat pada gambar 4.3 dibawah ini sensor ph mendeteksi kenaikan nilai ph dan di tampilkan pada layar LCD, kemudian sistem secara otomatis mengaktifkan pompa larutan *pH down* yang ada pada gambar 4.4 untuk menurunkan kadar pH hingga kembali ke rentang normal. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem mampu merespon kondisi basa secara cepat dan akurat.



Gambar 4.3 Kondisi Ph Air Tinggi



Gambar 4.4 Pompa Larutan Ph Down

4.3.2 Skenario Pengujian Ph Rendah

Skenario pengujian pH rendah dilakukan untuk menguji kinerja sistem ketika nilai pH air berada di bawah batas optimal di rentang ph 6.5-7. Pada kondisi ini terlihat pada gambar 4.5 sensor ph mengirimkan data ke mikrokontroller dan menampilkan data yang diterima ke LCD, kemudian sistem akan mengaktifkan pompa larutan ph up secara otomatis untuk menaikkan nilai ph pada air seperti yang terlihat pada gambar 4.6 dibawah ini. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan sistem dapat menjaga kestabilan pH dengan mengatasi kondisi terlalu asam secara efektif.



Gambar 4.5 Kondisi Ph Air Rendah



Gambar 4.6 Pompa Larutan Ph Up

4.3.3 Skenario Pengujian Ph Stabil

Skenario pengujian pH stabil dilakukan ketika nilai pH berada dalam rentang optimal (6,5 - 7). Seperti yang terlihat pada gambar 4.7, di kondisi ini sistem tidak akan mengaktifkan pompa *pH up* maupun *pH down*, melainkan hanya melakukan monitoring secara real-time, karena nilai ph menunjukkan nilai 6.9 yang masih berada di dalam rentang optimal. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem dapat mempertahankan kondisi stabil tanpa melakukan tindakan yang tidak diperlukan.



Gambar 4.7 Kondisi Ph Stabil

4.4 Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada setiap komponen sistem, dapat diketahui bahwa sistem sirkulasi air otomatis berbasis Internet of Things (IoT) pada hidroponik NFT telah bekerja sesuai dengan perancangan yang telah dibuat. Pada pengujian sensor pH, diperoleh hasil bahwa sensor mampu membaca nilai pH dengan tingkat akurasi yang cukup baik, ditunjukkan dengan selisih yang relatif kecil dibandingkan dengan alat ukur pH meter. Sistem juga mampu melakukan kontrol otomatis dengan baik, dimana pompa pH up dan pH down dapat bekerja sesuai kondisi yang terdeteksi untuk menjaga nilai pH tetap berada pada rentang 6,5–7,5. Hal ini menunjukkan bahwa sistem telah mampu menjaga kestabilan pH larutan nutrisi secara otomatis.

Pengujian sensor suhu menunjukkan bahwa sensor DS18B20 mampu memberikan hasil pembacaan yang stabil dan mendekati nilai sebenarnya. Meskipun sistem tidak dilengkapi dengan kontrol suhu otomatis, informasi suhu yang ditampilkan melalui web tetap memberikan manfaat bagi pengguna untuk melakukan pemantauan kondisi larutan nutrisi secara real-time. Pada pengujian sensor cahaya, sistem mampu mendeteksi perubahan intensitas cahaya dengan baik. Sensor cahaya yang digunakan dapat membedakan kondisi gelap, redup, dan terang, sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam pengendalian lampu UV. Lampu UV (grow light) terbukti mampu bekerja secara otomatis, yaitu menyala ketika intensitas cahaya rendah dan mati ketika cahaya mencukupi. Hal ini berperan penting dalam menjaga ketersediaan cahaya bagi tanaman untuk proses fotosintesis.

Dari sisi sistem monitoring, penggunaan web sebagai media pemantauan memberikan keunggulan dalam fleksibilitas dan kemudahan akses. Berdasarkan hasil pengujian, data dari sensor dapat ditampilkan secara real-time dengan delay yang relatif kecil, yaitu sekitar 1–3 detik. Selain itu, fitur kontrol manual yang tersedia pada web juga dapat berfungsi dengan baik dalam mengendalikan perangkat seperti pompa dan lampu. Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan mampu meningkatkan efisiensi dalam pengelolaan hidroponik dibandingkan dengan metode manual. Pengguna tidak perlu melakukan pemantauan secara langsung di lokasi karena seluruh informasi dapat diakses melalui web. Selain itu, sistem otomatisasi yang diterapkan juga mampu menjaga kestabilan parameter lingkungan tanaman secara lebih konsisten. Namun demikian, terdapat beberapa keterbatasan dalam sistem ini, antara lain ketergantungan terhadap koneksi internet untuk proses monitoring, kebutuhan kalibrasi berkala pada sensor pH, serta peningkatan konsumsi daya akibat penggunaan lampu UV. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan lebih lanjut untuk meningkatkan kinerja dan efisiensi sistem di masa mendatang.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem sirkulasi air otomatis berbasis Internet of Things (IoT) pada hidroponik tipe NFT berhasil dirancang dan diimplementasikan dengan menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali.
2. Sistem mampu memantau kondisi lingkungan tanaman secara real-time yang meliputi parameter pH larutan nutrisi, suhu, dan intensitas cahaya melalui media berbasis web.
3. Sistem kontrol otomatis pH dapat bekerja dengan baik dalam menjaga kestabilan pH pada rentang 6,5–7,5 dengan mengaktifkan pompa pH up dan pH down sesuai kondisi yang terdeteksi.
4. Sensor suhu DS18B20 mampu memberikan informasi suhu larutan nutrisi secara stabil dan akurat, sehingga dapat digunakan sebagai parameter pemantauan tambahan.
5. Sensor cahaya yang digunakan mampu mendeteksi intensitas cahaya lingkungan dan mengontrol lampu UV (grow light) secara otomatis untuk mendukung proses fotosintesis tanaman.

6. Sistem monitoring berbasis web mampu menampilkan data secara real-time serta menyediakan fitur kontrol manual yang dapat digunakan untuk mengendalikan perangkat dari jarak jauh.
7. Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan mampu meningkatkan efisiensi, kemudahan, dan keakuratan dalam pengelolaan hidroponik dibandingkan dengan metode manual.

5.2 Saran

Untuk penyempurnaan dan pengembangan system, penulis memiliki beberapa saran untuk pengembangan sistem di masa yang akan datang, yaitu:

1. Menambahkan sensor TDS/EC untuk memantau kadar nutrisi dalam larutan secara lebih lengkap.
2. Mengembangkan sistem penyimpanan data berbasis database agar data historis dapat disimpan dan dianalisis.
3. Menambahkan fitur notifikasi otomatis berbasis web atau aplikasi untuk memberikan peringatan kepada pengguna jika terjadi kondisi abnormal.
4. Mengoptimalkan penggunaan energi, khususnya pada lampu UV, dengan menambahkan sistem pengaturan waktu (timer).
5. Mengembangkan sistem kontrol suhu otomatis agar kondisi lingkungan tanaman dapat dikendalikan secara lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

Al-Jufri, H. Y. P., Novianti, O., Muhammad, G., Adytya, R., & Pramudhita, A. N. (2023). OTOMATISASI PERTANIAN DENGAN SENSOR SOIL MOISTURE, SENSOR CAHAYA, LED GROW LAMPS, DAN POMPA AIR UNTUK PERTUMBUHAN TANAMAN OPTIMAL. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, *11*(3). https://doi.org/10.23960/jitet.v11i3.3192

Alam, R. L., & Nasuha, A. (2020). Sistem Pengendali pH Air dan Pemantauan Lingkungan Tanaman Hidroponik menggunakan Fuzzy Logic berbasis IoT. *Elinvo (Electronics, Informatics, and Vocational Education)*, *5*(1), 11–20. https://doi.org/10.21831/elinvo.v5i1.34587

Andini Septya Ningrum, N. M. P. et al. (2024). *Analisis Penggunaan Sinar Ultra Violet (UV) Pada Tanaman Hidroponik*. *10*(23), 1274–1279.

Banjardana, A., Andriani, T., Topan, P. A., & Aryanto, N. (2024). Prototipe Sistem Monitoring Dan Kontrol Ph Serta Nutrisi Tanaman Hidroponik Berbasis Iot Untuk Pertanian. *Jurnal Informatika Teknologi Dan Sains (Jinteks)*, *6*(3), 455–464. https://doi.org/10.51401/jinteks.v6i3.4341

Ellys Kumala Pramartaningthyas M Ihsanul Fuad, S. M. (2022). ANALISIS PERFORMA SISTEM KENDALI pH DAN TDS TERLARUT BERBASIS. *Jurnal Resistor*, *5*(1), 1–9.

Erlangga, A. P. M., Dinatha, K. S. K., Nainggolan, F. E., & Prayogi, S. (2023). Prototipe Otomatisasi dan Pemantauan Sistem Hidroponik Berbasis IoT dengan Pemanfaatan Solar Panel Sebagai Sumber Energi. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, *7*(4), 1367–1377. https://doi.org/10.33379/gtech.v7i4.3143

Haerani, N., Rini, B., Giono, W., Izzdin, M., & Zaman, N. (2025). *Efek Rekayasa Pencahayaan Dengan Sinar Uv Pada Pertumbuhan Dan Produksi Tanaman Selada (Lactuca sativa L .) Dalam Sistem*. *10*, 71–77.

Handayani, M., & . M. (2022). Sistem Pengendali Nutrisi Dan Ph Air Pada Tanaman Hidroponik Selada. *JuTEkS (Jurnal Teknik Elektro Dan Sains)*, *9*(2), 1–7. https://doi.org/10.32832/juteks.v9i2.13505

Nigel, M., Rahmat, B., Studi Informatika, P., Timur Jln Rungkut Madya No, J., Anyar, G., Gn Anyar, K., & Timur, J. (2024). Monitoring Dan Kontrol Nutrisi Hidropoik Berbasis Iot Dengan Metode It2Fl. *Jurnal Informatika & Rekayasa Elektronika)*, *7*(1), 161–173. http://e-journal.stmiklombok.ac.id/index.php/jireISSN.2620-6900

Ridwan, M., & Sari, K. M. (2021). Application of IoT for Automated Controlling System of Temperature, Humidity, and Acidity in Hydroponics. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, *10*(4), 481–487.

Riza, F., & Arianty, N. (2025). *Smart Quality Control Berbasis IOT untuk Peningkatan Mutu Pengemasan Makanan Kering di Umkm Te-Man Pospera Kampung Kurnia Belawan*. *September*, 59–65.

Safiroh W.P, P. N., Nama, G. F., & Komarudin, M. (2022). Sistem Pengendalian Kadar PH dan Penyiraman Tanaman Hidroponik Model Wick System. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, *10*(1). https://doi.org/10.23960/jitet.v10i1.2260

Sigit Pambudi, Muhammad Alimul Kohar, Fitrizawati, H. (2024). Iteks Monitoring pH dan Kontroler Nutrisi Pada Bak Penampungan Air Hidroponik Berbasis IoT Dengan Mikrokontroler ESP 32 Iteks. *Intuisi Teknologi Dan Seni*, *16*(1), 51–58.

Tahir, Z., Ahmad Ilham, A., Niswar, M., Zainuddin, Z., Wahyudi Paundu, A., Aswad, I., Alief Fahdal Imran Oemar, M., & Puti Marindah Wardhani, T. (2023). *Sosialisasi Penerapan Teknologi Monitoring Tanaman Hidroponik di PPMI Shohwatul Is'ad Kabupaten Pangkep* (Vol. 6, Issue 2).

Treeratanaporn, T., & Phairoh, T. (2025). Investigating The Optimal Flow Rate For Hydroponic Plants Using IoT And The Decision Tree Model. *Journal of Applied Science and Engineering*, *29*(2), 337–346. https://doi.org/10.6180/jase.202602_29(2).0009