

PROTOTYPE MONITORING NUTRISI DAN PH AIR TANAMAN HIDROPONIK BERBASIS ANDROID

Kelvin Setiawan¹, Tony Darmanto², Jimmy Tjen³

^{1,3} Informatika, ²Sistem Informasi, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Widya Dharma Pontianak, Indonesia

e-mail: ¹21421381_kelvin_s@widyadharma.ac.id, ²tony.darmanto@yahoo.com,

³jimmy_tjen@widyadharma.ac.id

Abstract

This research discusses the challenges of manual monitoring in hydroponics, which often faces challenges in detecting nutrient parameters and water pH, which can hinder optimal plant growth. Manual monitoring proves ineffective for remote monitoring, especially for hydroponic farmers with high mobility. This research aims to design and test a prototype Android based nutrient and water pH monitoring system for lettuce cultivation using the Deep Flow Technique (DFT). The prototype system utilizes NodeMCU ESP32 as the controller for TDS sensor, pH 4502C sensor, water temperature DS18B20 sensor, as well as air temperature and humidity DHT22 sensor. Data is transmitted to Firebase Realtime Database and displayed on an LCD 16 × 2 and an Android application. Four peristaltic pumps are employed to automatically add AB Mix nutrients and pH balancing fluids based on user defined targets. Sensor accuracy is assessed using Mean Absolute Percentage Error (MAPE) method, and the Android application is tested using black box testing. The results show that the TDS sensor has an average error percentage of 6.86% and the pH 4502C sensor has an average error of 2.51%. The prototype system successfully monitors and displays data in realtime and automates the adjustment of nutrient concentration (ppm). However, the automatic control of pH levels was not successfully implemented due to unstable voltage readings.

Keywords: Hydroponics, Android, Internet of Things, Deep Flow Technique, MAPE, Black Box Testing

Abstrak

Penelitian ini membahas pengawasan secara manual pada hidroponik sering terkendala dalam proses deteksi parameter nutrisi dan pH air sehingga berpotensi menghambat pertumbuhan tanaman. Pengawasan manual juga kurang efektif dalam pengawasan jarak jauh bagi petani hidroponik yang memiliki mobilitas tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji prototipe sistem *monitoring* nutrisi dan pH air berbasis Android untuk budidaya selada dengan metode *Deep Flow Technique* (DFT). Sistem prototipe menggunakan NodeMCU ESP32 sebagai pengendali sensor TDS, pH 4502C, suhu air DS18B20, serta suhu dan kelembapan udara DHT22. Data dikirim ke Firebase Realtime Database kemudian ditampilkan pada LCD 16 × 2 dan aplikasi Android. Empat pompa peristaltik digunakan untuk menambahkan nutrisi AB Mix dan cairan penyeimbang pH secara otomatis berdasarkan target pengguna. Pengujian akurasi sensor menggunakan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) dan pengujian aplikasi Android menggunakan *black box testing*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sensor TDS memiliki persentase rata-rata *error* sebesar 6,86 persen dan sensor pH 4502C memiliki persentase rata-rata *error* sebesar 2,51 persen. Sistem *prototype* berhasil memantau dan membaca *data* secara *realtime* serta mengotomatisasikan penyesuaian nilai ppm. Tetapi pada proses pengendalian nilai pH secara otomatis belum berhasil dilakukan akibat ketidakstabilan pembacaan tegangan.

Kata kunci: Hidroponik, Android, Internet of Things, Deep Flow Technique, MAPE, Black Box Testing

1. PENDAHULUAN

Hidroponik merupakan salah satu metode budidaya tanaman yang tidak menggunakan media tanah namun menggunakan media tanam air untuk melangsungkan aktivitas pertanian. Kelebihan dari melakukan budidaya hidroponik yaitu tidak membutuhkan banyak perawatan, akan tetapi harus dilakukan pengecekan larutan nutrisi pada media tanam secara berkala^[1]. Nutrisi yang diberikan ke tanaman memiliki pengaruh terhadap derajat keasaman (pH) air, hal ini dikarenakan pH air yang diberikan nutrisi memiliki pengaruh terhadap larutan unsur hara tanaman sehingga dapat mengganggu kesuburan pada proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman^[2]. Dalam perkembangannya, sistem hidroponik telah mengalami berbagai evolusi metode, mulai dari sistem manual hingga sistem yang lebih modern. Beberapa metode yang umum digunakan antara lain sistem *Nutrient Film Technique* (NFT), *Wick System*, dan *Deep Flow Technique* (DFT)^[3].

Saat ini, sistem *monitoring* manual pada hidroponik menghadapi tantangan signifikan, terutama dalam hal efektivitas dan efisiensi pengawasan. *Monitoring* manual membutuhkan pengecekan berkala yang dilakukan secara

langsung oleh petani, yang dapat menyebabkan keterlambatan dalam mendeteksi perubahan parameter nutrisi dan pH air di luar jam pemeriksaan. Akibatnya, kondisi yang tidak optimal pada larutan nutrisi atau pH air berpotensi tidak tertangani dengan cepat, sehingga dapat memengaruhi kesehatan dan pertumbuhan tanaman hidroponik. Selain itu, *monitoring* manual kurang efektif dalam mendukung pengawasan jarak jauh. Hal ini menjadi tantangan besar bagi petani hidroponik yang memiliki mobilitas tinggi.

Untuk mengatasi tantangan tersebut, diperlukan solusi berupa sistem *monitoring* berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mampu menyediakan *data realtime* dan memungkinkan pengawasan jarak jauh. Dengan dukungan aplikasi berbasis Android, petani dapat memantau kondisi tanaman hidroponik kapan saja dan di mana saja, sehingga masalah keterlambatan dan keterbatasan pengawasan dapat diatasi dengan lebih efektif.

Berdasarkan latar belakang penelitian tersebut muncul gagasan untuk membuat sistem *prototype monitoring* nutrisi dan pH air tanaman hidroponik berbasis Android. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan *prototype* sistem *monitoring* pada perangkat Android untuk melakukan *monitoring* nutrisi dan pH air pada hidroponik selada yang ditumbuhkan dengan metode DFT. Sistem ini diharapkan dapat mengoptimalkan pertumbuhan tanaman hidroponik melalui kontrol parameter yang lebih akurat, meningkatkan efisiensi pengelolaan sistem hidroponik, serta mencegah penurunan hasil panen.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penyusunan jurnal, penulis menggunakan rancangan penelitian deskriptif, dimana pada penelitian ini akan melibatkan analisis tentang bagaimana teknologi IoT dapat diterapkan untuk dapat mengontrol sensor-sensor yang digunakan pada *prototype monitoring* nutrisi dan pH air tanaman hidroponik berbasis Android. Metode pengumpulan *data*, teknik analisis sistem, teknik perancangan sistem dan landasan teori yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

2.1 Metode Pengumpulan Data

2.1.1 Metode Studi Kepustakaan

Metode studi kepustakaan mencakup penelurusan berbagai literatur yang berkaitan dengan penelitian, seperti jurnal ilmiah, buku, *e-book*, dan sumber informasi relevan lainnya yang berkaitan dengan sistem *monitoring* nutrisi dan pH air tanaman hidroponik. Melalui studi kepustakaan dan penelitian-penelitian sebelumnya, peneliti dapat membangun landasan teori serta memahami praktik nyata dalam merancang sistem *monitoring* nutrisi dan pH air tanaman hidroponik berbasis Android.

2.2 Teknik Analisis Sistem

Teknik analisis sistem yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Unified Modelling Language* (UML). Dengan menggunakan teknik analisis sistem UML, penulis dapat memperoleh pemahaman yang lebih mendalam tentang sistem *monitoring* yang sedang dianalisis dan dapat digunakan sebagai dasar acuan untuk merancang dan mengembangkan sistem *monitoring*.

2.3 Teknik Perancangan Sistem

Teknik perancangan sistem yang digunakan penulis dalam membangun sistem *monitoring* nutrisi dan pH air tanaman hidroponik adalah dengan menggunakan bahasa pemrograman C dengan aplikasi Arduino IDE, perancangan *database* dengan Firebase, dan perancangan aplikasi Android dengan bahasa pemrograman Dart melalui aplikasi Visual Studio Code.

2.4 Landasan Teori

2.4.1 Internet of Things

IoT adalah suatu konsep yang menggambarkan jaringan komputer, perangkat seluler, mobil, dan berbagai hal dalam kehidupan sehari-hari yang dilengkapi dengan sensor, perangkat lunak, dan koneksi jaringan^[4]. IoT adalah suatu konsep tentang objek yang terhubung ke internet dan dapat saling berkomunikasi serta berinteraksi dengan manusia untuk menyediakan layanan yang berguna. IoT terdiri dari objek fisik yang terhubung ke internet yang dilengkapi dengan sensor, perangkat lunak, dan perangkat keras^[5].

2.4.2 Unified Modelling Language

UML merupakan standar yang digunakan untuk membuat model dokumentasi berbasis *object-oriented*. UML digunakan untuk menggambarkan sistem perangkat lunak dan perangkat keras secara terstruktur sehingga lebih mudah dipahami^[6]. UML adalah sebuah diagram standar untuk menentukan, memvisualisasikan, membangun, dan mendokumentasikan elemen sistem perangkat lunak^[7].

2.4.3 Deep Flow Technique

DFT merupakan teknik yang mensirkulasikan air dan nutrisi dalam sistem genangan sedalam 4-5 cm untuk memastikan akar tanaman tetap terendam dan memperoleh unsur hara yang cukup. Tantangan dalam sistem DFT adalah genangan air harus dikontrol agar tidak menyebabkan pembusukan akar dan pertumbuhan jamur^[8]. DFT adalah salah satu sistem tanaman dalam hidroponik yang menggunakan genangan pada instalasi dan aliran sirkulasi yang pelan. Kelebihan sistem DFT yaitu sistem DFT tidak membutuhkan listrik secara 24 jam dan dapat menjadi solusi bagi pelaku hidroponik

yang sering mengalami pemadaman listrik. Kekurangan sistem DFT yaitu tanaman dapat kekurangan oksigen terlarut sehingga pertumbuhan dapat terganggu^[9].

2.4.4 Firebase

Firebase adalah salah satu layanan Google tidak berbayar yang berfungsi untuk mempermudah pengembang aplikasi dalam mengembangkan aplikasi yang dibuat secara *realtime*^[10]. Firebase adalah platform pengembangan aplikasi yang menawarkan serangkaian alat untuk menyederhanakan proses pembuatan *backend* untuk aplikasi *web* dan *mobile*. Firebase menyediakan infrastruktur siap pakai seperti autentikasi, *database*, notifikasi, analisis kinerja, dan bahkan pembelajaran mesin^[11].

2.4.5 Regresi Linear

Regresi linear adalah model statistik yang digunakan untuk merepresentasikan hubungan antara dua variabel dalam bentuk garis lurus. Model ini berguna untuk menganalisis dan memprediksi nilai dari satu variabel dependen (*outcome*) berdasarkan nilai variabel independen (*predictor*)^[12]. Regresi linear adalah metode statistik untuk memodelkan hubungan antara satu variabel independen dan satu variabel dependen dengan sebuah garis lurus. Tujuannya adalah untuk menemukan garis terbaik yang dapat memprediksi nilai variabel dependen berdasarkan nilai variabel independen^[13].

2.4.6 Mean Absolute Percentage Error

MAPE adalah metode untuk menghitung rata-rata kesalahan absolut sebagai persentase dari nilai sebenarnya sehingga diketahui seberapa besar kesalahan relatif terhadap ukuran sebenarnya dari apa yang di prediksi^[14]. MAPE adalah sebuah pengukuran yang digunakan untuk mengevaluasi ketepatan dari sebuah sistem peralaman. Pengukuran ini ditentukan dengan menghitung rata-rata kesalahan persentase absolut untuk setiap periode waktu, yang dihitung dengan membagi perbedaan nilai absolut antara nilai prediksi dan nilai sebenarnya dengan nilai sebenarnya^[15].

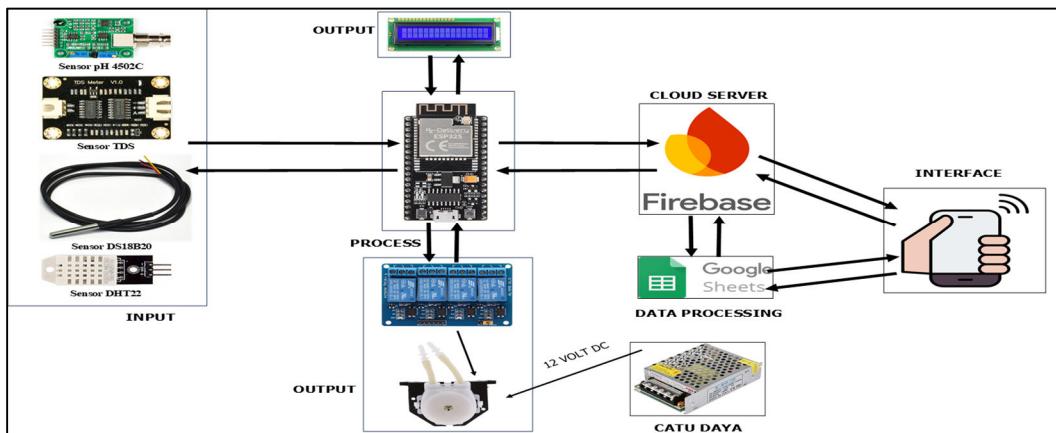
$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{\hat{y}_i - y_i}{y_i} \right| \times 100\% \quad (2.1)$$

Persamaan 2.1 menunjukkan persamaan MAPE, dimana y_i menyatakan nilai sebenarnya pada saat ke- i , \hat{y}_i menyatakan nilai prediksi pada saat ke- i , dan n menyatakan banyaknya sampel pengujian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Kerja Internet of Things Pada Sistem Monitoring Tanaman Hidroponik Berbasis Android

Gambar 1 menunjukkan skema sistem *monitoring* tanaman hidroponik berbasis Android. Penelitian ini diawali dengan perakitan rangkaian dan alat elektronika yang digunakan untuk mendukung sistem *monitoring* nutrisi dan pH air tanaman hidroponik berbasis Android. Perakitan sistem *monitoring* terdiri dari beberapa komponen elektronika, yaitu NodeMCU ESP32 sebagai pengendali utama, perangkat masukan yang terdiri dari sensor TDS, sensor pH, sensor suhu air, dan sensor suhu dan kelembapan udara. Perangkat keluaran yang terdiri dari layar LCD 16 × 2 untuk menampilkan status keluaran dari pembacaan sensor.

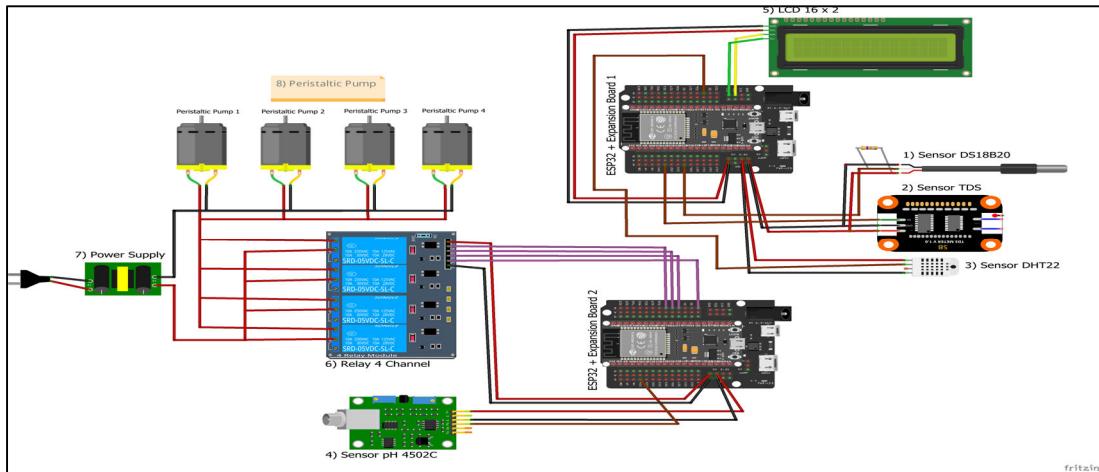


Gambar 1. Skema Sistem Monitoring Nutrisi dan pH Air Tanaman Hidroponik Berbasis Android

Penggunaan sensor-sensor ini bertujuan untuk melakukan *monitor* keadaan tanaman hidroponik yang akan menghasilkan parameter kondisi tanaman yang akurat dan relevan. Adapun sensor yang digunakan dalam penelitian ini adalah: sensor TDS untuk mengukur konsentrasi larutan nutrisi, sensor pH untuk memantau tingkat keasaman larutan nutrisi, sensor DS18B20 untuk mengukur suhu air nutrisi, sensor DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembapan udara di sekitar tanaman hidroponik.

Output sensor TDS dan sensor pH akan digunakan sebagai parameter kondisi untuk menghidupkan *relay* yang tersambung ke pompa *peristaltic*. Oleh karena itu, dibutuhkan juga catu daya yang digunakan untuk memberi tegangan arus listrik kepada pompa *peristaltic* sehingga nutrisi AB mix dan larutan penyeimbang pH dapat dialirkan secara otomatis. Perakitan alat ini dilakukan secara bertahap untuk memastikan bahwa setiap komponen dapat berfungsi dengan baik, sehingga menghasilkan sistem yang akurat dan handal dalam mendukung sistem *monitoring*.

3.2 Perancangan Rangkaian Sistem Kontrol



Gambar 2. Skema Rangkaian Sistem Kontrol

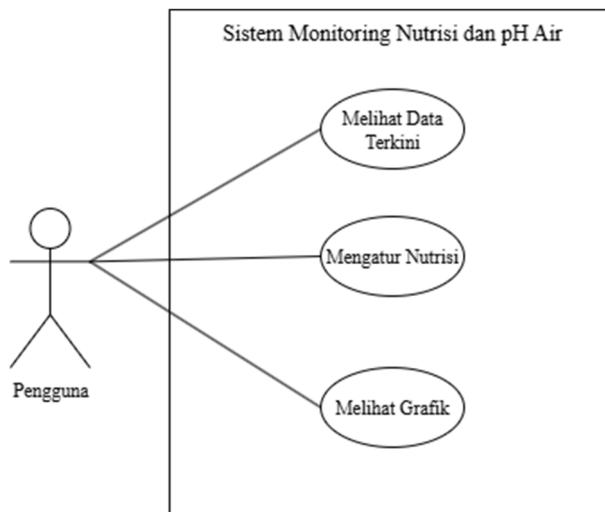
Untuk mempermudah pembuatan rangkaian, maka diperlukan desain rangkaian alat sistem *monitoring* secara visual sebagai panduan dalam merakit komponen-komponen yang dibutuhkan. Desain ini mencakup perakitan rangkaian elektronika antara ESP32 dan sensor-sensor seperti TDS, pH, suhu air, dan DHT22. Perangkat tambahan seperti *relay*, pompa dan catu daya, semua komponen tersebut dihubungkan menggunakan kabel *jumper* dan kabel tunggal serabut. Gambar 2 menunjukkan skema rangkaian elektronika sistem *monitoring* berbasis IoT yang digunakan dalam penelitian ini. Tabel 1 menjelaskan tentang detail rangkaian kabel dan koneksi perangkat yang digunakan dalam sistem kontrol *monitoring* nutrisi dan pH air.

Tabel 1. Keterangan Rangkaian Kabel Sistem Kontrol

No.	Kabel	Keterangan
1	Merah	Sebagai kutub positif yang memberikan tegangan ke sensor TDS, sensor pH 4502C, sensor DHT22, sensor DS18B20, LCD 16 x 2, dan Relay 5V 4 channel.
2	Hitam	Sebagai kutub negatif yang memberikan tegangan ke sensor TDS, sensor pH 4502C, sensor DHT22, sensor DS18B20, LCD 16 x 2, dan Relay 5V 4 channel.
3	Coklat	Menghubungkan <i>input data</i> dari sensor TDS menuju <i>pin GPIO</i> 35, sensor pH 4502C menuju <i>pin GPIO</i> 34, sensor DHT22 menuju <i>pin GPIO</i> 4, dan sensor DS18B20 menuju <i>pin GPIO</i> 25.
4	Ungu	Menghubungkan <i>input</i> dari <i>relay 5V 4 channel</i> menuju <i>pin GPIO</i> 15 hingga 18 mikrokontroler NodeMCU ESP32 untuk melakukan kontrol terhadap aliran listrik pompa peristaltik.
5	Kuning	Menghubungkan <i>pin SDA</i> dari LCD 16 x 2 menuju <i>pin GPIO</i> 21.
6	Hijau	Menghubungkan <i>pin SCL</i> dari LCD 16 x 2 menuju <i>pin GPIO</i> 22.

3.3 Perancangan Logika Aplikasi Monitoring Berbasis Android Menggunakan UML

Gambar 3 *use case diagram* merupakan gambaran sistem aplikasi *monitoring* nutrisi dan pH air pada tanaman hidroponik. Terdapat satu aktor pengguna dan empat *use case* yaitu melihat data terkini, mengatur nutrisi, dan melihat grafik.



Gambar 3. Use Case Diagram

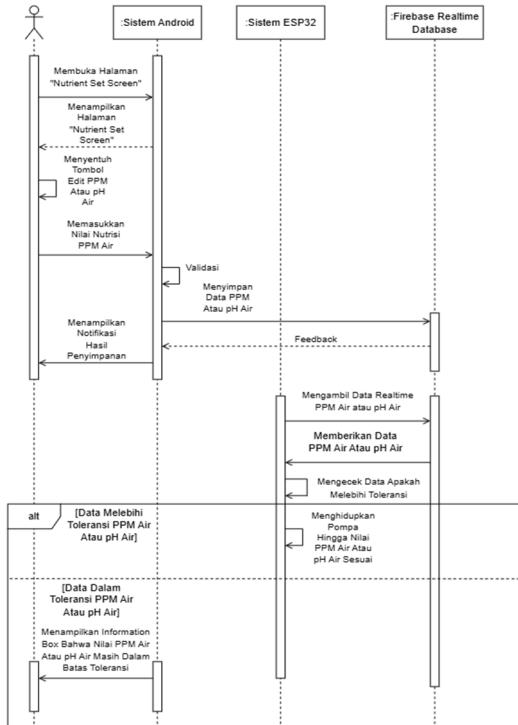


Gambar 4. Activity Diagram Mengatur Nutrisi

Gambar 4 *activity diagram* mengatur nutrisi menjelaskan alur proses mengatur nutrisi ketika pengguna menyentuh tombol navigasi menuju halaman “Nutrient Set Screen”. Setelah itu, sistem Android akan menampilkan halaman “Nutrient Set Screen” dimana pengguna dapat mengatur nutrisi ppm air atau pH air.

Kemudian pengguna memasukkan angka spesifik untuk nilai nutrisi ppm air atau pH air. Setelah nilai diinput, sistem Android akan menyimpan data tersebut menggunakan perintah *write*. Jika penyimpanan gagal, sistem akan menampilkan pesan kesalahan, dan jika penyimpanan berhasil, data akan dikirimkan ke *database* dan disimpan.

Selanjutnya, sistem IoT akan mengecek apakah nilai nutrisi air atau pH air *realtime* telah mendekati nilai yang telah ditetapkan pengguna. Jika sudah mendekati, sistem akan menampilkan pesan konfirmasi bahwa kondisi nutrisi ppm air atau pH air telah sesuai. Jika belum, ESP32 akan mengaktifkan pompa hingga nilai *realtime* mencapai angka yang diinginkan.



Gambar 5. Sequence Diagram Mengatur Nutrisi

Gambar 5 *sequence diagram* mengatur nutrisi menjelaskan alur komunikasi antar objek saat pengguna melakukan pengaturan nutrisi ppm air atau pH air di aplikasi Android. Proses dimulai ketika pengguna menyentuh tombol navigasi menuju halaman “Nutrient Set Screen”. Sistem Android kemudian akan menampilkan halaman “Nutrient Set Screen” untuk mengatur nutrisi ppm air kepada pengguna.

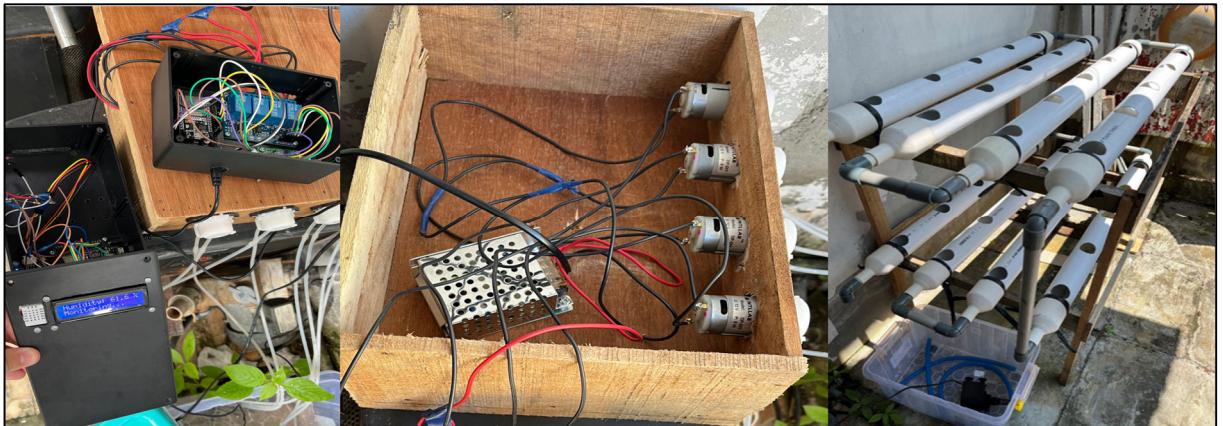
Selanjutnya, pengguna menyentuh tombol “Edit” ppm air atau pH air, sehingga sistem Android akan menampilkan *text field* untuk memasukkan angka spesifik. Setelah pengguna memasukkan nilai ppm air atau pH air yang diinginkan, sistem Android akan mengirimkan data tersebut ke Firebase Database menggunakan perintah *write*. Firebase Database akan menyimpan data yang telah *diinput* dan melakukan validasi. Jika penyimpanan berhasil, sistem akan menampilkan *information box* berhasil kepada pengguna.

Kemudian, Firebase Database mengirimkan nilai ppm air atau pH air yang telah ditetapkan oleh pengguna ke ESP32. ESP32 membaca nilai sensor TDS untuk membandingkan apakah nilai *realtime* sudah sesuai dengan target pengguna. Jika nilai *realtime* sudah sesuai, sistem Android akan mengambil data terbaru untuk menampilkan status kondisi ppm air atau pH kepada pengguna. Jika nilai *realtime* belum sesuai, maka ESP32 akan mengaktifkan *relay* untuk menghidupkan pompa hingga nilai ppm air atau pH air mencapai target yang ditetapkan pengguna. Setelah penyesuaian selesai, ESP32 akan memperbarui data ke Firebase Database, yang kemudian diteruskan ke sistem Android agar status kondisi ppm air dapat ditampilkan kepada pengguna.

3.4 Implementasi Rangkaian Sistem Kontrol dan Rangka Hidroponik

Gambar 6 menunjukkan rangkaian sistem kontrol dan rangka hidroponik yang digunakan dalam sistem *monitoring* nutrisi dan pH air tanaman hidroponik. Rangkaian ini menggunakan NodeMCU ESP32 sebagai pusat kontrol untuk semua perangkat elektronik. NodeMCU ESP32 bertugas untuk menerima *data* dari berbagai sensor dan melakukan pengiriman *data* ke Firebase serta mengendalikan pompa berdasarkan logika yang telah ditentukan.

Sistem ini dilengkapi dengan beberapa sensor, antara lain sensor TDS untuk mengukur jumlah zat padatan terlarut dalam air, sensor pH untuk mengukur derajat keasaman air nutrisi, DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembapan di sekitar tanaman hidroponik, dan DS18B20 untuk mengukur suhu air nutrisi yang berfungsi sebagai *input* untuk sistem *monitoring*. Semua data hasil pembacaan sensor akan dikirimkan ke Firebase Realtime Database dan ditampilkan langsung pada layar LCD 16 × 2 sebagai *output*.



Gambar 6. Implementasi Rangkaian Sistem Kontrol dan Rangka Hidroponik

3.4.1 Sensor TDS

Tabel 2. Perhitungan Nilai Regresi Linear Sensor TDS

No.	X	Y	X^2	XY
1	0,25	160	0,0625	40
2	0,73	350	0,5329	255,5
3	1,10	500	1,21	550
4	1,48	718	2,1904	1062,64
Σ	$\Sigma X = 3,56$	$\Sigma Y = 1728$	$\Sigma X^2 = 3,9958$	$\Sigma XY = 1908,14$

Tabel 2 menunjukkan perhitungan nilai regresi linear yang digunakan untuk sensor TDS. Perhitungan a dilakukan menggunakan persamaan:

$$a = \frac{n(\Sigma XY) - (\Sigma X)(\Sigma Y)}{n(\Sigma X^2) - (\Sigma X)^2},$$

$$\Rightarrow \frac{4(1908,14) - (3,56)(1728)}{4(3,9958) - (3,56)^2} = \frac{1480,88}{3,3096} = 447,45 \quad (3.1)$$

Setelah itu, nilai b dihitung menggunakan persamaan:

$$b = \frac{(\Sigma Y)(\Sigma X^2) - (\Sigma X)(\Sigma XY)}{n(\Sigma X^2) - (\Sigma X)^2},$$

$$\Rightarrow \frac{(1728)(3,9958) - (3,56)(1908,14)}{4(3,9958) - (3,56)^2} = \frac{111,764}{3,3096} = 33,77 \quad (3.2)$$

Sehingga diperoleh persamaan regresi linier sebagai berikut:

$$ppm = 447,45 \times V + 33,77 \quad (3.3)$$

Dimana 447,45 menyatakan nilai a yang berfungsi untuk menentukan berapa besar perubahan nilai ppm untuk setiap satuan perubahan tegangan, \tilde{V} menyatakan tegangan yang dibaca oleh sensor TDS, dan 33,77 menyatakan nilai b yaitu nilai ppm saat tegangan = 0.

Persamaan ini kemudian digunakan dalam program untuk mengonversi tegangan hasil pembacaan sensor menjadi perkiraan nilai ppm secara *realtime*. Untuk logika kontrol pompa nutrisi otomatis dilakukan berdasarkan nilai ppm , sistem akan membandingkan nilai ppm aktual dengan target ppm yang ditentukan oleh pengguna melalui aplikasi Android kemudian nilai tersebut disimpan ke Firebase Realtime Database. Jika nilai ppm aktual berada di bawah nilai target, maka sistem akan mengaktifkan pompa nutrisi A dan B hingga nilai ppm mencapai target. Selain itu, pembacaan nilai ppm target juga diberi toleransi sebesar 60 ppm, untuk mencegah aktivasi pompa yang dapat menyebabkan nilai ppm melebihi target. Sehingga selisih ppm dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$\Delta ppm = ppm_{target} - ppm_{actual} \quad (3.4)$$

Dimana Δppm menyatakan selisih antara nilai target ppm dengan nilai ppm aktual yang terbaca oleh sensor, ppm_{target} menyatakan nilai ppm yang ditentukan oleh pengguna, dan ppm_{actual} menyatakan nilai yang terbaca oleh sensor TDS secara *realtime*.

Setelah didapatkan selisih antara nilai ppm aktual dengan nilai ppm target dari pengguna, perlu ditentukan berapa banyak larutan nutrisi yang perlu ditambahkan, sehingga terlebih dahulu dihitung kebutuhan ppm dalam seluruh *volume* air. Nilai ini diperoleh dari hasil perkalian antara selisih ppm dan *volume* air dalam satuan liter. Sehingga total kebutuhan ppm dalam seluruh *volume* air dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$ppm_{total} = \Delta ppm \times V_{air} \quad (3.5)$$

Dimana ppm_{total} menyatakan total kebutuhan ppm dalam seluruh *volume* air, Δppm menyatakan selisih antara nilai target ppm dengan nilai ppm aktual yang terbaca oleh sensor, dan V_{air} menyatakan *volume* air.

Setelah diperoleh ppm_{total} , langkah selanjutnya adalah menghitung *volume* larutan nutrisi yang perlu ditambahkan ke dalam air nutrisi. Berdasarkan hasil percobaan yang telah dilakukan, diketahui bahwa 10 mL larutan AB Mix dapat meningkatkan konsentrasi sebesar 1260 ppm dalam satu liter air. Oleh karena itu, *volume* larutan nutrisi yang dibutuhkan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Konsentrasi_{ppm/ml} = \frac{1260}{10} = 126 \text{ ppm/ml} \quad (3.6)$$

$$V_{nutrisi} = \frac{ppm_{total}}{126} \quad (3.7)$$

Selanjutnya, *volume* larutan nutrisi dibagi dua untuk menentukan masing-masing *volume* kebutuhan nutrisi A dan B. Sehingga *volume* nutrisi A dan B dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$V_A = V_B = \frac{V_{nutrisi}}{2} \quad (3.8)$$

Untuk memberikan proteksi, sistem membatasi *volume* nutrisi yang boleh keluar maksimal untuk setiap pompa menjadi 5 mL, dengan tujuan untuk mencegah kelebihan pemberian nutrisi. Setelah *volume* nutrisi ditentukan, sistem akan menghitung durasi aktivasi pompa secara otomatis berdasarkan kecepatan alirannya. Dalam sistem ini, pompa 3 dan pompa 4 menghasilkan debit sebesar 52 mL/menit, sehingga waktu aktivasi pompa dalam milidetik dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Durasi_{pompa} = \left(\frac{V_A = V_B}{Kecepatan_{pompa}} \right) \times 60000 \quad (3.9)$$

3.4.2 Sensor pH

Tabel 3. Perhitungan Nilai Regresi Linear Sensor pH

No.	X	Y	X^2	XY
1	3,300	4,01	10,89	13,233
2	2,808	6,86	7,885	19,263
3	2,449	9,18	5,998	22,482
Σ	$\Sigma X = 8,557$	$\Sigma Y = 20,050$	$\Sigma X^2 = 24,772$	$\Sigma XY = 54,978$

Tabel 3 menunjukkan perhitungan nilai regresi linear yang digunakan untuk sensor pH. Perhitungan a dilakukan menggunakan persamaan:

$$a = \frac{n(\Sigma XY) - (\Sigma X)(\Sigma Y)}{n(\Sigma X^2) - (\Sigma X)^2},$$

$$\Rightarrow \frac{3(54,978) - (8,557)(20,050)}{3(24,772) - (8,557)^2} = \frac{-6,578}{1,091} = -6,0583 \quad (3.10)$$

Setelah itu, nilai b dihitung menggunakan persamaan:

$$b = \frac{(\Sigma Y)(\Sigma X^2) - (\Sigma X)(\Sigma XY)}{n(\Sigma X^2) - (\Sigma X)^2},$$

$$\Rightarrow \frac{(20,050)(24,772) - (8,557)(54,978)}{3(24,772) - (8,557)^2} = \frac{25,508}{1,091} = 23,964 \quad (3.11)$$

Sehingga diperoleh persamaan regresi linier sebagai berikut:

$$pH = -6,0583 \times V + 23,964 \quad (3.12)$$

Persamaan ini kemudian digunakan dalam program untuk mengonversi tegangan hasil pembacaan sensor menjadi perkiraan nilai pH secara *realtime*. Untuk menjaga pH larutan dalam rentang ideal, sistem secara otomatis mengoreksi keasaman berdasarkan nilai target pH yang diatur oleh pengguna. Nilai target ini diambil dari Firebase Realtime Database, kemudian sistem menghitung selisih antara nilai aktual dan nilai target, yang dapat dihitung sebagai:

$$\Delta pH = pH_{aktual} - pH_{target} \quad (3.13)$$

Jika nilai ΔpH lebih kecil atau sama dengan 0,5 maka sistem menganggap kondisi pH masih dalam batas toleransi dan tidak melakukan koreksi. Tetapi, jika ΔpH lebih besar dari 0,5 maka sistem akan menghitung kebutuhan *volume* larutan nutrisi menggunakan prinsip molaritas.

Larutan koreksi pH yang digunakan dalam sistem ini terdiri dari larutan pH *down* berupa *asam nitrat* (HNO_3) 10 persen dan larutan pH *up* berupa *kalium hidroksida* (KOH) 10 persen. Massa relatif HNO_3 diperoleh dari penjumlahan massa atom penyusunnya, yaitu *hidrogen* (H) sebesar 1, *nitrogen* (N) sebesar 14, dan *oksigen* (O) sebesar 16 yang dikalikan sebanyak 3 atom, sehingga totalnya adalah 63 gram/mol. Massa relatif KOH diperoleh dari penjumlahan massa atom penyusunnya, yaitu *kalium* (K) sebesar 39, *oksigen* (O) sebesar 16, dan *hidrogen* (H) sebesar 1, sehingga totalnya adalah 56 gram/mol. Sebelum menentukan *volume* larutan koreksi pH yang diperlukan, terlebih dahulu perlu dihitung molaritas dari larutan KOH yang digunakan. Untuk menghitung molaritas larutan, digunakan persamaan berikut:

$$M = \frac{m}{M_r \times V} \quad (3.14)$$

Dimana M menyatakan molaritas larutan, m menyatakan massa zat terlarut dalam gram, M_r menyatakan massa molar atau massa molekul relatif, dan V menyatakan *volume* air. Larutan HNO_3 10 persen terbuat dari larutan HNO_3 pekat dengan konsentrasi 68 persen, larutan pekat tersebut harus diencerkan terlebih dahulu hingga mencapai konsentrasi 10 persen. Proses pengenceran tersebut menggunakan prinsip pengenceran larutan, yang dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2 \quad (3.15)$$

Dimana M_1 menyatakan molaritas larutan pekat sebelum diencerkan, V_1 menyatakan *volume* larutan pekat yang diambil, M_2 menyatakan molaritas larutan setelah pengenceran, dan V_2 menyatakan *volume* total larutan setelah pengenceran.

Data yang diketahui: $M_1 = 68\%$, $M_2 = 10\%$, $V_2 = 1000 \text{ mL}$. Sehingga perhitungan pengenceran larutan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} M_1 \times V_1 &= M_2 \times V_2, \\ \Rightarrow 68 \times V_1 &= 10 \times 1000, \\ \Rightarrow V_1 &= \frac{(10 \times 1000)}{68} = 147,06 \text{ mL} \end{aligned} \quad (3.16)$$

Sehingga didapatkan *volume* larutan pekat yang dibutuhkan untuk membuat larutan HNO_3 10 persen sebanyak 1000 mL adalah 147,06 mL dengan campuran air sebagai pelarut sebanyak 852,94 mL.

Persamaan 4.18 digunakan karena pada proses pengenceran, jumlah molaritas zat terlarut bernilai tetap, sedangkan volume larutan bertambah akibat penambahan pelarut. Oleh karena itu, persamaan 3.14 tidak digunakan dalam perhitungan ini, karena tidak merepresentasikan kondisi pengenceran dari larutan pekat yang sudah memiliki konsentrasi tertentu

$$M_{HNO_3} = \frac{10}{63 \times 0,1} = 1,587 \text{ mol/L} \quad (3.17)$$

$$M_{KOH} = \frac{10}{56 \times 0,1} = 1,786 \text{ mol/L} \quad (3.18)$$

Logika pompa pH dibagi menjadi dua kondisi:

a. Logika Saat pH Diturunkan

Untuk menurunkan pH, sistem akan menambahkan larutan asam HNO_3 10 persen melalui pompa 1. *Volume* koreksi yang dibutuhkan dihitung dengan persamaan:

$$V_{HNO_3} = \frac{V_{air} \times \Delta pH \times M_{KOH}}{M_{HNO_3}} \quad (3.19)$$

b. Logika Saat pH Dinaikkan

Untuk menaikkan pH, sistem akan menambahkan larutan basa KOH 10 persen melalui pompa 2. *Volume* koreksi yang dibutuhkan dihitung dengan persamaan:

$$V_{KOH} = \frac{V_{air} \times \Delta pH \times M_{HNO_3}}{M_{KOH}} \quad (4.20)$$

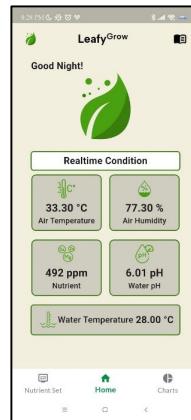
Untuk memberikan proteksi, sistem membatasi *volume* yang boleh keluar maksimal untuk setiap pompa menjadi 5 mL. Setelah itu, sistem menghitung durasi aktivasi pompa berdasarkan kecepatan alirannya. Dalam sistem ini, pompa 1 menghasilkan debit sebesar 50 mL/menit sedangkan pompa 2 menghasilkan debit sebesar 58 mL//menit, sehingga waktu aktivasi dalam milidetik dapat dihitung dengan persamaan:

$$Durasi_{pompa} = \left(\frac{V}{Kecepatan_{pompa}} \right) \times 60000 \quad (3.21)$$

3.5 Implementasi Tampilan Antarmuka Pengguna

Gambar 9 menunjukkan tampilan antarmuka halaman “Home Screen” pada aplikasi LeafyGrow yang berfungsi untuk menampilkan hasil pembacaan sensor yaitu informasi kondisi lingkungan dan larutan nutrisi secara *realtime*. Terdapat indikator utama bertuliskan “Realtime Condition” yang menjadi penanda bahwa semua *data* yang ditampilkan diperbarui secara langsung dari sensor yang terhubung ke NodeMCU ESP32 dimana *data* tersebut dikirimkan ke Firebase Realtime Database.

Tampilan antarmuka “Home Screen” memiliki lima parameter utama yang ditampilkan dalam bentuk *box* informasi, sebagai berikut: a. “Air Temperature” menunjukkan nilai suhu udara di sekitar rangka hidroponik dalam satuan derajat °C (*Celcius*); b. “Air Humidity” menunjukkan nilai kelembaban udara di sekitar rangka hidroponik dalam satuan RH (*Relative Humidity*) yang dinyatakan dalam persen; c. “Nutrient” menunjukkan nilai konsentrasi larutan nutrisi dalam satuan ppm; d. “Water pH” menunjukkan nilai keasaman larutan nutrisi; e. “Water Temperature” menunjukkan nilai suhu air larutan nutrisi.



Gambar 5. Tampilan Antarmuka Home Screen

3.6 Pengujian Akurasi Sensor

Bagian ini membahas proses pengujian akurasi terhadap dua sensor utama dalam sistem monitoring nutrisi dan pH air tanaman hidroponik, yaitu sensor TDS dan sensor pH, untuk memastikan keakuratan data yang dikirimkan ke sistem. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa akurat hasil pembacaan sensor terhadap nilai referensi yang telah diketahui. Metode yang digunakan untuk mengukur tingkat akurasi sensor adalah metode MAPE.

3.6.1 Pengujian Akurasi Sensor TDS

Tabel 4 menunjukkan hasil pengujian akurasi sensor TDS terhadap larutan kalibrasi 160 ppm. Hasil perhitungan MAPE untuk larutan ini adalah sebesar 17,97 persen, yang menunjukkan bahwa sensor memiliki tingkat akurasi yang cukup baik karena terdapat penyimpangan yang masih dapat ditoleransi.

Tabel 5 menunjukkan hasil pengujian sensor TDS terhadap larutan kalibrasi 350 ppm. Rata-rata kesalahan dari seluruh pengujian MAPE yang diperoleh adalah 2,23 persen, yang menunjukkan bahwa sensor memiliki tingkat akurasi yang baik dalam membaca konsentrasi 350 ppm.

Tabel 4. Pengujian Akurasi Sensor TDS Dengan Metode MAPE Menggunakan Larutan Kalibrasi 160 ppm

No.	Nilai Sebenarnya	Nilai Perkiraaan	Persentase Error	No.	Nilai Sebenarnya	Nilai Perkiraaan	Persentase Error
1	160 ppm	128	20,0%	11	160 ppm	131	18,1%
2	160 ppm	131	18,1%	12	160 ppm	130	18,8%
3	160 ppm	131	18,1%	13	160 ppm	131	18,1%
4	160 ppm	132	17,5%	14	160 ppm	131	18,1%
5	160 ppm	131	18,1%	15	160 ppm	132	17,5%
6	160 ppm	131	18,1%	16	160 ppm	132	17,5%
7	160 ppm	132	17,5%	17	160 ppm	132	17,5%
8	160 ppm	131	18,1%	18	160 ppm	132	17,5%
9	160 ppm	131	18,1%	19	160 ppm	132	17,5%
10	160 ppm	132	17,5%	20	160 ppm	132	17,5%
MAPE				17,97%			

Tabel 6 menunjukkan hasil pengujian sensor TDS terhadap larutan kalibrasi 500 ppm. Rata-rata kesalahan dari seluruh pengujian MAPE yang diperoleh adalah 1,37 persen, yang menunjukkan bahwa sensor memiliki tingkat akurasi

yang baik dalam membaca konsentrasi 500 ppm.

Tabel 5. Pengujian Akurasi Sensor TDS Dengan Metode MAPE Menggunakan Larutan Kalibrasi 350 ppm

No.	Nilai Sebenarnya	Nilai Perkiraan	Percentase Error	No.	Nilai Sebenarnya	Nilai Perkiraan	Percentase Error
1	350 ppm	356	1,7%	11	350 ppm	356	1,7%
2	350 ppm	355	1,4%	12	350 ppm	360	2,9%
3	350 ppm	355	1,4%	13	350 ppm	357	2,0%
4	350 ppm	331	5,4%	14	350 ppm	357	2,0%
5	350 ppm	334	4,6%	15	350 ppm	357	2,0%
6	350 ppm	368	5,1%	16	350 ppm	356	1,7%
7	350 ppm	354	1,1%	17	350 ppm	357	2,0%
8	350 ppm	354	1,1%	18	350 ppm	353	0,9%
9	350 ppm	357	2,0%	19	350 ppm	357	2,0%
10	350 ppm	356	1,7%	20	350 ppm	356	1,7%
MAPE				2,23%			

Tabel 7 menunjukkan hasil pengujian sensor TDS terhadap larutan kalibrasi 718 ppm. Rata-rata kesalahan dari seluruh pengujian MAPE yang diperoleh adalah 5,86 persen, yang menunjukkan bahwa sensor memiliki tingkat akurasi yang cukup baik dalam membaca konsentrasi 718 ppm.

Tabel 6. Pengujian Akurasi Sensor TDS Dengan Metode MAPE Menggunakan Larutan Kalibrasi 500 ppm

No.	Nilai Sebenarnya	Nilai Perkiraan	Percentase Error	No.	Nilai Sebenarnya	Nilai Perkiraan	Percentase Error
1	500 ppm	495	1,0%	11	500 ppm	493	1,4%
2	500 ppm	504	0,8%	12	500 ppm	493	1,4%
3	500 ppm	503	0,6%	13	500 ppm	494	1,2%
4	500 ppm	501	0,2%	14	500 ppm	496	0,8%
5	500 ppm	503	0,6%	15	500 ppm	494	1,2%
6	500 ppm	491	1,8%	16	500 ppm	493	1,4%
7	500 ppm	495	1,0%	17	500 ppm	493	1,4%
8	500 ppm	490	2,0%	18	500 ppm	490	2,0%
9	500 ppm	495	1,0%	19	500 ppm	487	2,6%
10	500 ppm	487	2,6%	20	500 ppm	488	2,4%
MAPE				1,37%			

Tabel 7. Pengujian Akurasi Sensor TDS Dengan Metode MAPE Menggunakan Larutan Kalibrasi 718 ppm

No.	Nilai Sebenarnya	Nilai Perkiraan	Percentase Error	No.	Nilai Sebenarnya	Nilai Perkiraan	Percentase Error
1	718 ppm	688	4,2%	11	718 ppm	677	5,7%
2	718 ppm	686	4,5%	12	718 ppm	673	6,3%
3	718 ppm	680	5,3%	13	718 ppm	674	6,1%
4	718 ppm	673	6,3%	14	718 ppm	675	6,0%
5	718 ppm	676	5,8%	15	718 ppm	673	6,3%
6	718 ppm	674	6,1%	16	718 ppm	674	6,1%
7	718 ppm	676	5,8%	17	718 ppm	674	6,1%
8	718 ppm	676	5,8%	18	718 ppm	673	6,3%
9	718 ppm	674	6,1%	19	718 ppm	673	6,3%
10	718 ppm	676	5,8%	20	718 ppm	673	6,3%
MAPE				5,86%			

Dari empat hasil pengujian, dapat dihitung nilai rata-rata MAPE keseluruhan yaitu sebesar 6,86 persen. Berdasarkan nilai keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa sensor TDS memiliki tingkat akurasi yang cukup baik dalam membaca nilai konsentrasi zat padatan terlarut. Namun, terdapat penyimpangan pembacaan pada larutan konsentrasi yang rendah.

3.6.2 Pengujian Akurasi Sensor pH 4502C

Tabel 8. Pengujian Akurasi Sensor pH 4502C Dengan Metode MAPE Menggunakan Larutan Kalibrasi pH 4,01

No.	Nilai Sebenarnya	Nilai Perkiraan	Percentase Error	No.	Nilai Sebenarnya	Nilai Perkiraan	Percentase Error
1	4,01	pH 3,97	1,0%	11	4,01	pH 3,97	1,0%
2	4,01	pH 3,97	1,0%	12	4,01	pH 3,97	1,0%
3	4,01	pH 3,97	1,0%	13	4,01	pH 3,97	1,0%
4	4,01	pH 3,97	1,0%	14	4,01	pH 3,97	1,0%
5	4,01	pH 3,97	1,0%	15	4,01	pH 3,97	1,0%
6	4,01	pH 3,97	1,0%	16	4,01	pH 3,97	1,0%
7	4,01	pH 3,97	1,0%	17	4,01	pH 3,97	1,0%
8	4,01	pH 3,97	1,0%	18	4,01	pH 3,97	1,0%
9	4,01	pH 3,97	1,0%	19	4,01	pH 3,97	1,0%
10	4,01	pH 3,97	1,0%	20	4,01	pH 3,97	1,0%
MAPE				1,0%			

Tabel 8 menunjukkan sensor secara konsisten membaca nilai pH sebesar 3,97 untuk seluruh pengujian. Rata-rata kesalahan MAPE yang diperoleh adalah sebesar satu persen, menunjukkan bahwa sensor memiliki akurasi cukup baik pada pH rendah. Pembacaan sensor pada larutan ini menunjukkan bahwa nilai ADC yang dibaca mencapai maksimum yaitu 4095, yang setara dengan tegangan *output* sensor sebesar 3,3V. Hal ini menunjukkan bahwa larutan dengan pH lebih rendah dari 4 tidak dapat dibaca secara akurat oleh sensor, karena rentang tegangan *input* ke ADC sudah mencapai batas maksimal. Sehingga disimpulkan bahwa batas minimum pH yang dapat diukur secara efektif oleh sensor ini adalah sekitar pH 4,01.

Tabel 9 menunjukkan hasil pengujian sensor pH terhadap larutan kalibrasi pH 6,86. Rata-rata kesalahan dari seluruh pengujian MAPE yang diperoleh adalah 2,59 persen, yang menunjukkan bahwa sensor memiliki tingkat akurasi yang baik dalam membaca pH 6,86.

Tabel 10 menunjukkan hasil pengujian sensor pH terhadap larutan kalibrasi pH 9,18. Rata-rata kesalahan dari seluruh pengujian MAPE yang diperoleh adalah 4,84 persen, yang menunjukkan bahwa sensor memiliki tingkat akurasi yang cukup baik dalam membaca pH 9,18.

Dari tiga hasil pengujian, sehingga dapat dihitung rata-rata MAPE keseluruhan sebesar 2,51 persen. Nilai ini menunjukkan bahwa tingkat kesalahan rata-rata dari sensor pH tergolong rendah, sehingga dapat disimpulkan bahwa sensor pH yang digunakan memiliki akurasi yang cukup baik dalam mendekripsi nilai pH larutan. Namun, terdapat catatan penting bahwa ketika sensor ini diimplementasikan ke dalam larutan nutrisi hidroponik, pembacaan nilai pH cenderung tidak stabil. Sehingga perlu penelitian lebih lanjut untuk mengevaluasi performa sensor.

Tabel 9. Pengujian Akurasi Sensor pH 4502C Dengan Metode MAPE Menggunakan Larutan Kalibrasi pH 6,86

No.	Nilai Semenarnya	Nilai Perkiraan	Percentase Error	No.	Nilai Semenarnya	Nilai Perkiraan	Percentase Error
1	6,86	pH 7,03	2,5%	11	6,86	pH 6,98	1,7%
2	6,86	pH 7,06	2,9%	12	6,86	pH 7,02	2,3%
3	6,86	pH 7,04	2,6%	13	6,86	pH 6,85	0,1%
4	6,86	pH 7,04	2,6%	14	6,86	pH 7,13	3,9%
5	6,86	pH 6,94	1,2%	15	6,86	pH 7,02	2,3%
6	6,86	pH 7,06	2,9%	16	6,86	pH 7,13	3,9%
7	6,86	pH 7,02	2,3%	17	6,86	pH 7,11	3,6%
8	6,86	pH 7,08	3,2%	18	6,86	pH 7,17	4,5%
9	6,86	pH 6,99	1,9%	19	6,86	pH 7,02	2,3%
10	6,86	pH 7,01	2,2%	20	6,86	pH 7,03	2,5%
MAPE				2,59%			

Tabel 10. Pengujian Akurasi Sensor pH 4502C Dengan Metode MAPE Menggunakan Larutan Kalibrasi pH 9,18

No.	Nilai Semenarnya	Nilai Perkiraan	Percentase Error	No.	Nilai Semenarnya	Nilai Perkiraan	Percentase Error
1	9,18	pH 9,58	4,4%	11	9,18	pH 9,59	4,5%
2	9,18	pH 9,56	4,1%	12	9,18	pH 9,67	5,3%
3	9,18	pH 9,58	4,4%	13	9,18	pH 9,61	4,7%
4	9,18	pH 9,62	4,8%	14	9,18	pH 9,65	5,1%
5	9,18	pH 9,67	5,3%	15	9,18	pH 9,63	4,9%
6	9,18	pH 9,53	3,8%	16	9,18	pH 9,66	5,2%
7	9,18	pH 9,55	4,0%	17	9,18	pH 9,73	6,0%
8	9,18	pH 9,62	4,8%	18	9,18	pH 9,67	5,3%
9	9,18	pH 9,67	5,3%	19	9,18	pH 9,63	4,9%
10	9,18	pH 9,63	4,9%	20	9,18	pH 9,64	5,0%
MAPE				4,84%			

4. KESIMPULAN

Dari hasil perancangan dan pengujian sistem prototype monitoring nutrisi dan pH air tanaman hidroponik, kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Sistem *prototype* berhasil dirancang untuk melakukan proses pengendalian secara otomatis terhadap jumlah total zat padatan terlarut (ppm) pada nutrisi air tanaman hidroponik sesuai dengan pengaturan yang ditentukan oleh pengguna.
- Hasil pengujian menunjukkan bahwa proses pengendalian pH air pada tanaman hidroponik secara otomatis tidak berhasil dilakukan dikarenakan ketidakstabilan pembacaan tegangan sensor pH terhadap larutan nutrisi.
- Dari empat hasil pengujian terhadap sensor TDS, diperoleh diperoleh nilai rata-rata persentase *error* menggunakan metode MAPE sebesar 6,86 persen.
- Dari tiga kali pengujian terhadap sensor pH 4502C, diperoleh nilai rata-rata persentase *error* menggunakan metode MAPE sebesar 2,51 persen.
- Berdasarkan pengujian *black box*, aplikasi LeafyGrow dapat berfungsi dengan baik. Aplikasi dapat menampilkan data kondisi lingkungan secara *realtime* berdasarkan hasil pembacaan sensor dan mendukung pengguna dalam mengatur nilai target nutrisi serta pH sesuai kebutuhan.
- Untuk pembacaan sensor TDS masih belum dapat membaca lebih dari 750 ppm.

5. SARAN

Setelah melakukan analisis pada hasil perancangan dan pengujian terhadap sistem prototype monitoring nutrisi dan pH air tanaman hidroponik, beberapa saran yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya, yaitu:

- Pada pengembangan selanjutnya, disarankan untuk menggunakan sensor pH dengan kualitas yang lebih baik agar hasil pembacaan nilai pH menjadi lebih stabil dan akurat.
- Pada pengembangan selanjutnya, pendekatan logika kontrol dapat dikembangkan dengan algoritma yang lebih fleksibel seperti *Proportional Integral Derivative (PID) controller* dan *machine learning* untuk meningkatkan akurasi serta efisiensi sistem otomatisasi pemberian nutrisi dan koreksi nilai pH.
- Pada pengembangan selanjutnya, disarankan untuk menambahkan pengaduk agar larutan nutrisi dan cairan koreksi pH dapat tercampur secara merata, sehingga pembacaan sensor lebih konsisten dan proses koreksi dapat berjalan lebih efektif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penelitian ini, peneliti mengucapkan terima kasih kepada Civitas Akademika Fakultas Teknologi Informasi Universitas Widya Dharma Pontianak dan semua pihak yang telah memberikan bimbingan, petunjuk, dan saran berharga dalam perjalanan penelitian ini. Tanpa bantuan mereka, penelitian ini tidak akan mencapai titik ini. Peneliti juga ingin berterima kasih orang tua, keluarga, teman, dosen, dan pihak lain yang telah memberikan dukungan moral dan motivasi. Akhir kata, peneliti sangat menghargai setiap masukan dan saran yang dapat memajukan penelitian ini ke tingkat yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rahmad. Doni dan Iwan. Fitrianto. Rahmad, “Smart Farm Hydroponics berbasis IOT dengan NodeMCU ESP8266,” *BEES: Bulletin of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 3, no. 1, 8–13, 2023.
- [2] Renny. Eka. Putri, Afifah. Khainur, dan Andasuryani, “Pengembangan Sistem Otomatisasi pH Larutan Nutrisi pada Hidroponik Sistem DFT (*Deep Flow Technique*) Berbasis IOT,” *agriTECH*, vol. 43, no. 3, 259, 2023.
- [3] Susilawati, *Dasar-Dasar Bertanam Secara Hidroponik*. Palembang: Unsri Press, 2019.
- [4] Rohit. Kumar. Vyas, *Internet Of Things & Its Applications*. Bhopal: AG Publishing House, 2023.
- [5] Vinod. Kumar. Khanna, *IoT Sensors: An Exploration of Sensors for Internet of Things*. Florida: CRC Press, 2025.
- [6] Alex. Nordeen, *Learn UML in 24 Hours*. Alex Nordeen, 2020.
- [7] Suriya. Sundaramoorthy, *UML Diagramming: A Case Study Approach*. Florida: CRC Press, 2022.
- [8] Yuni. Melfia, *Hidroponik Skala Rumah Tangga*. Rawamangun: Bumi Aksara, 2023.
- [9] Bayu. Widhi. Nugroho, *Hidroponik Rumahan*. Jakarta Timur: Bumi Aksara, 2024.
- [10] Hari. Toha. Hidayat, Husaini, dan Nanang. Prihatin, *18 Hari Menguasai Pemrograman Android App Inventor, Firebase Dan Google Sheet*. Banyumas: Penerbit Amerta Media, 2023.
- [11] Diego. Rodrigues, *Learn Firebase: Integrate Real-Time Backend for Web and Mobile Applications 2024 Edition*. Diego Rodrigues, 2024.
- [12] Peter. Martin, *Linear Regression: An Introduction to Statistical Models*. London: SAGE Publications, 2022.
- [13] James. V. Stone, *Linear Regression with Python: A Tutorial Introduction to the Mathematics of Regression Analysis*. Sebtel Press, 2022.
- [14] Hackal. Hilmi. Zain dan Mohamad. Nurkamal. Fauzan, *Peramalan Terhadap Permintaan Produk Dalam Sektor Logistik di Indonesia*. Bandung: Buku Pedia, 2023.
- [15] Neha. Sharma, Amol. C. Goje, Amlan. Chakrabarti, dan Alfred. M. Bruckstein, *Data Management, Analytics and Innovation*. Singapore: Springer Nature Singapore, 2024.