

Perancangan Sistem Otomatisasi Berbasis IoT untuk Aeroponik Horizontal

1st Bagas Fabian Maulana
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

bagasfm@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Fairuz Azmi
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

worldliner@telkomuniversity.ac.id

3rd Agung Nugroho Jati
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

agungnj@telkomuniversity.ac.id

Abstrak—Pertumbuhan penduduk yang dan terbatasnya lahan untuk bercocok tanam adalah masalah utama dalam era modern ini. Aeroponik adalah salah satu teknik penanaman tanpa media tanah yang menarik dikarenakan jika dibandingkan dengan hidroponik dan akuaponik, aeroponik tidak memerlukan ruang yang lebar, penggunaan air dan pupuk yang lebih sedikit, dan tanaman dapat langsung menerima asupan oksigen dan nutrisi melalui akar. Tetapi aeroponik mempunyai kelemahan yaitu perlunya pemantauan secara kontinu terhadap suhu, kadar pH, kelembaban, serta memerlukan penyiraman pada akar tanaman yang konsisten. Hal ini menjadi alasan mengapa perancangan sistem otomatisasi yang terintegrasi dibutuhkan sehingga proses teknik aeroponik dapat dijalankan dengan interaksi manusia yang minim. Penelitian ini menggunakan metode *waterfall* yang mempunyai tahapan analisa kebutuhan, desain, sistem, penyusunan kode, pengujian dan penerapan sistem. Dilakukan perancangan menggunakan mikrokontroler yang terhubung ke sensor suhu dan kelembaban, sensor ultrasonik, dan sensor pH yang akan digunakan untuk menjalankan fungsi otomatisasi sistem. Hasil yang didapatkan dari pengujian menunjukkan bahwa fitur otomatisasi *misting*, pemberian pupuk, pengontrolan suhu dan kelembaban area *misting*, serta notifikasi ketinggian air dalam kontainer pupuk AB dan bak air dapat berjalan dengan baik. Sistem memiliki responsivitas yang cukup baik dengan memenuhi semua standar waktu ideal. Tetapi notifikasi sensor pH memiliki keterbatasan yang membuat fungsi notifikasi tidak berfungsi sebagai mestinya.

Kata kunci—*Internet-of-Things, Aeroponik, ESP32, Arduino, Otomatisasi*

I. PENDAHULUAN

Dengan menambahnya populasi dunia, terjadilah beberapa kendala yang harus dihadapi seperti berkurangnya produksi bahan pangan dan luas lahan tanah. Efek dari berkurangnya produksi makanan ini berdampak kepada masyarakat yang makin susah untuk membeli bahan pangan yang berkualitas dan ketahanan negara pun akan berkurang. Ditambahnya dengan makin banyaknya pembangunan rumah untuk menampung jumlah manusia yang terus bertambah, lahan untuk kebutuhan pangan pun semakin sedikit [1].

Dikarenakan media tanah sudah makin terbatas untuk bercocok tanam di daerah perkotaan, maka masyarakat dapat menggunakan cara bercocok tanam dengan tidak memerlukan tanah. Cara bercocok tanam ini menggunakan air atau udara sebagai media tanam sehingga tidak diperlukannya tanah sama sekali. Salah satunya adalah

teknik aeroponik. Cara kerja aeroponik adalah tanaman ditanam secara mengambang di udara menggunakan *netpot* baik secara vertikal maupun horizontal pada suatu kontainer. Dengan cara ini maka akar akan merambat di udara, kemudian akar ini akan disiram dengan buliran air atau biasa disebut *misting* dengan air bertekanan tinggi yang telah dicampurkan dengan nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman. [2].

Aeroponik memiliki beberapa keunggulan yaitu cocok digunakan pada tempat terbatas dikarenakan dapat dilakukan secara vertikal, lebih irit dalam penggunaan air dan pupuk dikarenakan air yang dibutuhkan saat *misting* sangat jauh lebih sedikit dan akan kembali ke dalam bak air, tanaman dapat mendapatkan lebih banyak oksigen dikarenakan akar berada di udara dan tidak perlu dialiri air terus menerus, dan nutrisi pun bisa lebih hemat dikarenakan akar langsung menyerap nutrisi dari air yang diberikan [3]. Namun, aeroponik juga memiliki tantangan. Sistem ini bergantung dengan pasokan listrik, membutuhkan biaya awal yang relatif tinggi, serta membutuhkan pemantauan dan pemeliharaan yang konstan terhadap kadar pH, suhu air, kelembaban udara, dan konsistensi penyemprotan air nutrisi. Tanpa kontrol dan pemantauan yang akurat dan terus menerus, tanaman bisa mengalami stres atau gagal tumbuh.

Untuk menjawab tantangan tersebut, dibuat sebuah sistem otomatisasi berbasis IoT. Otomatisasi memungkinkan proses pemantauan dan perawatan tanaman dilakukan secara otomatis. Sistem ini dilengkapi dengan sensor pH, suhu air, kelembaban udara, serta sensor ultrasonik untuk mendeteksi ketinggian kontainer pupuk dan bak air, yang semuanya terintegrasi ke dalam sebuah mikrokontroler untuk dilakukan otomatisasi. Metode yang digunakan dalam menyelesaikan sistem ini adalah metode *waterfall* yang akan melakukan analisa terlebih dahulu untuk mendapatkan teori dasar yang dibutuhkan, setelah mendapatkan teori dasar yang dibutuhkan, maka akan dilakukan desain sistem dan program sesuai dengan teori dasar, lalu akan melakukan pengujian dari desain sistem dan program yang telah dibuat, dan tahapan akhirnya adalah penerapan langsung dari sistem yang telah dibuat ke tanaman.

II. DASAR TEORI

A. Aeroponik

Aeroponik merupakan teknik bercocok tanam tanpa media tanah. Tanaman diposisikan menggantung dan akarnya menjalar ke udara. Aeroponik diambil dari bahasa

Yunani, yaitu *aero* dan *ponic*. *Aero* yang berarti udara dan *ponic* yang berarti kerjaan. Peran tanah akan diganti oleh udara dan juga air. Air akan dicampur dengan nutrisi dan disemprotkan ke akar tanaman. Sedangkan daun, batang, dan rantai harus terkena sinar. Metode ini lebih hemat air dari teknik bercocok tanam tanpa tanah dikarenakan air dan nutrisi dapat dengan mudah diatur [1].

Pada teknik aeroponik modern, penggunaan komputer sangat dibutuhkan untuk memastikan kelancaran penanaman tumbuhan aeroponik. Menurut Zobel dan Mirza et al. pada tahun 1998 menyatakan bahwa akar tumbuhan di sistem aeroponik dapat mengambil nutrisi yang tersedia dengan cepat dan menjalar lebih cepat di bawah kondisi yang dikontrol. Kondisi ini termasuk dengan konsentrasi nutrisi, nilai cahaya, nilai keasaman air, temperatur, kelembapan, frekuensi penyiraman, dan ketersediaan oksigen [4].

Dalam aeroponik, terdapat beberapa parameter yang harus diperhatikan untuk keberlangsungan pertumbuhan tanaman. Berikut adalah parameter-parameter yang harus diperhatikan.

- Interval waktu *misting* akar tanaman

Pada aeroponik, terdapat waktu interval yang diatur untuk penyiraman tanaman. Hal ini dikarenakan jika dilakukan penyiraman secara terus menerus, maka akar tanaman akan menjadi busuk dan tidak dapat bernafas. Pada penelitian, peneliti menggunakan sistem aeroponik tekanan tinggi, berdasarkan laman AGrowTronics pada tahun 2021, dibutuhkan waktu *misting* sebesar 4 detik dan dibutuhkan waktu 5 menit untuk tanaman tidak menerima air. Digunakannya waktu *misting* sebesar 4 detik agar akar tanaman tetap basah. Digunakannya waktu 5 menit interval agar akar tanaman tidak terlalu kering [5].

- Volume Pencampuran Pupuk A dan B dengan Air

Pupuk AB adalah sumber nutrisi yang diperlukan oleh tanaman yang tidak memakai tanah sebagai media tanam. Pupuk AB berisi nutrisi dan unsur hara yang diperlukan oleh tanaman dan akar tanaman. Namun tidak bisa sembarangan dalam mengasih nutrisi ke tanaman. Terlalu sedikit maka tanaman akan kekurangan nutrisi dan menghasilkan tanaman yang kerdil, terlalu banyak juga akan mengganggu perkembangan tanaman yang menyebabkan tanaman mengalami kelainan dalam proses pertumbuhan [6].

Penelitian ini mengambil volume pencampuran pupuk A dan B dengan air yang tepat berdasarkan dari panduan Pupuk AB yang digunakan yaitu HydroFarm Nutrisi VeggieMix. Nutrisi ini dikhususkan untuk sayuran hijau seperti pakcoi. Takaran pemberian nutrisi yang disarankan adalah dengan mencampurkan 3 ml pupuk A dan 3 ml pupuk B dengan 1 liter air.

B. Tanaman Pakcoi

Tanaman pakcoi (*Brassica rapa L.*) merupakan tanaman yang berasal dari Cina dan telah dibudidayakan dari abad ke-5 di daerah Cina. Pakcoi berkembang luas di beberapa daerah Asia Tenggara dan Timur. Tanaman ini dapat tumbuh pada ketinggian 5-1.200 M dpl, suhu 15-30 °C dan kelembapan 70 % - 90 % [7]. Serta menurut data di BB2TP, rentang kadar pH yang baik untuk tanaman hijau seperti pakcoi adalah 6.0 sampai 7.0 [14].

C. Internet-of-Things

Internet-of-Things atau biasa disebut IoT adalah salah satu teknologi yang peminatnya sedang tinggi. IoT memungkinkan kita untuk mengubah objek didunia nyata untuk bergabung ke dalam dunia objek kecerdasan buatan. IoT menargetkan untuk menggabungkan objek mati menjadi satu *framework* umum yang tak hanya untuk mengatur benda-benda, tetapi untuk tetap terus diperbarui dengan kondisi sekarang. [8].

D. Bahasa Pemrograman C++

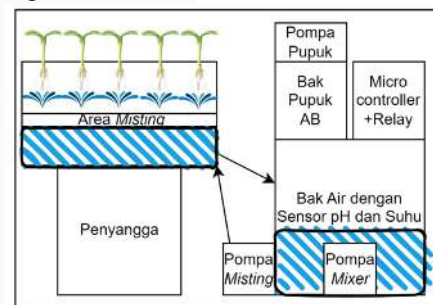
C++ merupakan bahasa pemrograman general-purpose yang berorientasi objek yang diciptakan oleh Bjarne Stroustrup di Bell Labs pada tahun 1980 [9]. C++ didesain sebagai bahasa pemrograman yang bisa digunakan pada antar-platform dan merupakan improvisasi dari C untuk memberi kontrol lebih pada sumber daya memori dan sistem. C++ mempunyai beberapa kelebihan yaitu terdapat fitur stack di mana terdapat sebuah kontainer penyimpanan tersendiri yang dapat didefinisikan [10][11].

E. Platform Blynk

Blynk adalah platform yang menyediakan berbagai fasilitas komersial untuk IoT. Blynk dapat digunakan sebagai pengontrol perangkat IoT jarak jauh, menyimpan dan menampilkan data-data dari sensor IoT. Blynk terdiri dari 3 komponen dasar yaitu Aplikasi, Server, dan Libraries. Aplikasi sebagai antarmuka pengguna dengan perangkat, server sebagai penghubung antara perangkat dengan pengguna, dan juga Libraries sebagai komponen yang diakses oleh Blynk untuk mengambil data pada perangkat [8] [12].

III. PERACANGAN SISTEM

A. Perancangan Umum Sistem



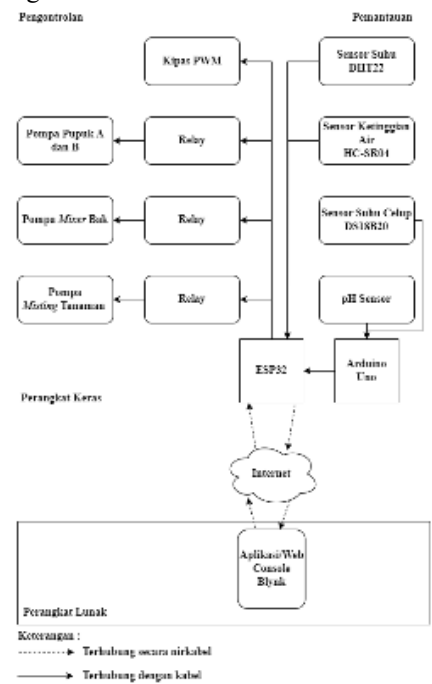
GAMBAR 1

(Desain umum sistem yang akan dibuat)

Perancangan umum dari sistem otomatisasi berbasis IoT untuk aeroponik horizontal dapat dilihat pada Gambar 1. Sistem terdiri dari sebuah kontainer 35 liter yang telah dimodifikasi menjadi area *misting*. Pada area *misting* terdapat 5 buah titik penyiraman dan 5 buah lubang untuk menaruh *netpot* yang berisikan *rockwool* yang akan digunakan sebagai media tanam oleh tanaman pakcoi. Bersebelahan dengan area *misting*, terdapat bak air yang sudah terintegrasi dengan sensor pH dan suhu celup. Di dalam bak tersebut terdapat sebuah pompa kecil yang akan digunakan sebagai *mixer* pada saat pupuk nutrisi AB yang ada di atas bak disedot oleh pompa pupuk masuk ke dalam bak. Terdapat pompa dan selang antara area *misting* dan

bak air yang digunakan sebagai pendorong dan drainase air. Pompa dan sensor akan diatur oleh mikrokontroler dan *relay* yang berada di atas bak air.

B. Blok Diagram Sistem



GAMBAR 2
(Diagram blok sistem)

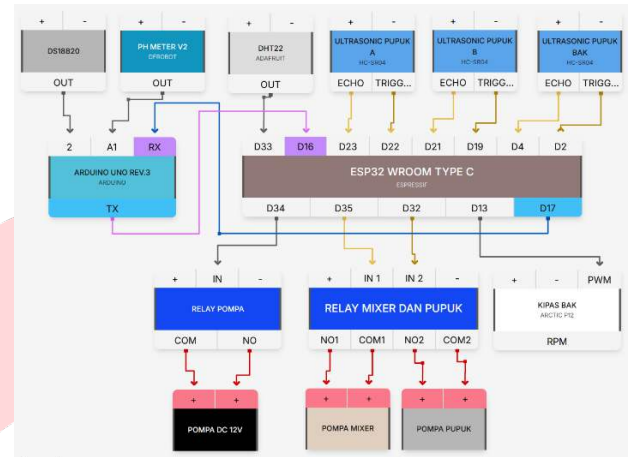
Berdasarkan pada blok diagram sistem yang dapat dilihat pada Gambar 2, penjelasan dari setiap bagian blok adalah sebagai berikut:

- Blok pemantauan berisikan sensor-sensor yang akan mengirimkan data ke ESP32, lalu ESP32 akan mengirimkan data tersebut ke platform Blynk.
- Blok Mikroprosesor ESP32 berisikan mikrokontroler yang berfungsi sebagai pusat pengendali perangkat dalam sistem ini. Data yang terkirim dari sistem pemantauan akan diolah sesuai dengan nilai yang telah terprogram.
- Blok Pengontrolan berisi komponen yang dapat dikendalikan dari hasil pemantauan maupun dari pengolahan data yang telah dilakukan oleh ESP32. Jika kondisi dan nilai sesuai yang ditetapkan, maka ESP32 akan mengatur pengontrolan yang telah ditetapkan sebelumnya.
- Blok Perangkat Lunak merupakan penghubung antara pengguna dengan sistem yang akan dibuat. Pengguna dapat memantau dan mengontrol sistem melalui web dashboard maupun dengan ponsel melalui platform Blynk.

C. Desain Perangkat Keras

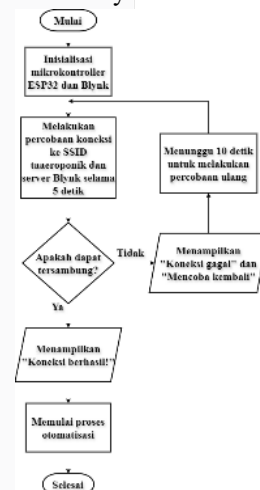
Desain perangkat keras dapat dilihat pada Gambar 3. Untuk bagian *input/monitoring*, ESP32 akan dihubungkan ke 5 buah sensor yaitu 3 buah sensor ultrasonik HC-SR04 sebagai pengukur tinggi air dalam bak air dan bak pupuk, 1 buah sensor DHT22 sebagai pengukur suhu dan kelembaban dalam area *misting*. Terdapat satu buah mikrokontroler tambahan yaitu Arduino Uno. Arduino ini terhubung dengan sensor pH Meter dan juga sensor suhu celup DS18B20. Arduino Uno akan mengambil data pada

sensor-sensor tersebut, lalu mengirimkannya ke ESP32 melalui UART. Alasan menggunakan mikrokontroler tambahan dikarenakan *Analog-to-Digital Converter* pada ESP32 tidaklah sebagus pada Arduino Uno meski memiliki resolusi yang lebih besar [13][14]. ESP32 dihubungkan dengan 1 buah *single-channel relay* sebagai pengontrol pompa *misting*, 1 buah *single-channel relay* sebagai pengontrol pompa pupuk dan *mixer*, dan 1 buah kipas PWM.



GAMBAR 3
(Desain perangkat keras sistem)

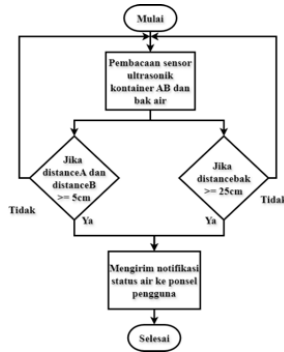
D. Perancangan Fungsi Menghidupkan ESP32 dan Inisialisasi Platform Blynk



GAMBAR 4
(Diagram alir proses koneksi sistem ke Blynk)

Pada diagram alir di Gambar 4 dijelaskan fungsi inisialisasi ESP32 pada saat pertama kali menyala. Diawali dengan menghidupkan mikrokontroler ESP32 dan melakukan inisialisasi kode dan *library* yang diperlukan untuk terkoneksi ke platform Blynk. ESP32 pun mencoba menghubungkan ke SSID WiFi. Jika berhasil, maka ESP32 akan terhubung ke server Blynk dan menampilkan pesan “Koneksi berhasil!” pada serial monitor. Jika belum, maka akan menampilkan pesan “Koneksi gagal” dan “Mencoba kembali” dan menunggu hingga 10 detik sebelum percobaan kembali.

E. Perancangan Fungsi Notifikasi Sisa Air Kontainer Pupuk AB dan Bak Air



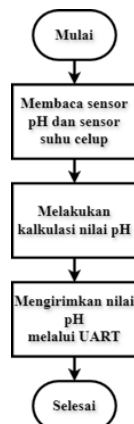
GAMBAR 5

(Diagram alir fungsi notifikasi sisa air kontainer pupuk AB dan bak air)

Pada diagram alir di Gambar 5 dijelaskan fungsi ini berguna untuk memberitahu pengguna untuk segera melakukan isi ulang pupuk pada kontainer pupuk A, B, dan air pada bak air. Cara kerja fungsi ini adalah 3 buah sensor ultrasonik yang terhubung ke ESP32 akan melakukan pengukuran jarak antara sisa air dengan sensor. Hasil kalkulasi jarak ini akan dikirimkan ke Blynk untuk dilakukan otomatisasi. Jika Blynk menerima nilai dari sensor ultrasonik kontainer pupuk A dan B dengan jarak lebih dari sama dengan 5 cm, maka Blynk akan mengirimkan notifikasi untuk mengisi kontainer pupuk. Jika Blynk menerima nilai dari sensor ultrasonik bak air dengan jarak lebih dari 25 cm, maka Blynk akan mengirimkan notifikasi untuk mengisi bak air ke ponsel pengguna melalui aplikasi Blynk.

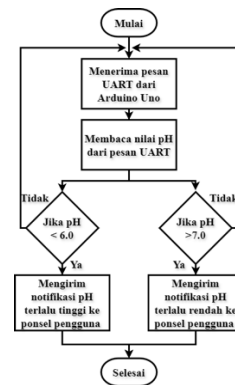
F. Perancangan Fungsi Notifikasi Kadar pH Terlalu Rendah atau Tinggi

Pada perancangan fungsi notifikasi kadar pH yang terlalu rendah atau tinggi, digunakan dua mikrokontroler. Hal ini dilakukan karena salah satu mikrokontroler akan berfungsi sebagai ADC untuk ESP32, sebagaimana yang telah dijelaskan pada Bab III Subbab D. Perancangan perangkat lunak untuk mikrokontroler Arduino Uno disajikan melalui diagram alir pada Gambar 6. Sementara untuk perancangan perangkat lunak untuk ESP32 dapat dilihat pada Gambar 7.



GAMBAR 6

(Diagram alir untuk Arduino Uno)

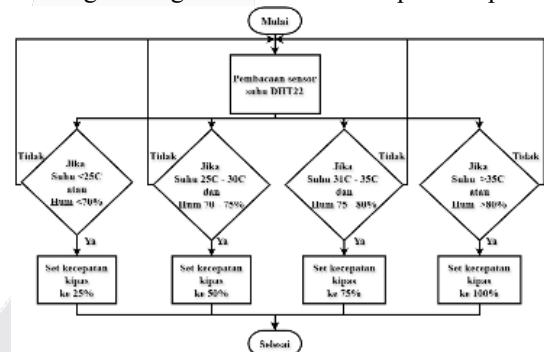


GAMBAR 7

(Diagram alir untuk ESP32)

Pada fungsi ini, Arduino Uno akan membaca nilai dari modul sensor pH dan sensor suhu celup DS18B20, setelah itu *library* DFRobot pH akan melakukan kalkulasi pH dari nilai yang diterima oleh modul pH sensor dan sensor suhu celup menjadi satu variabel nilai pH yang siap dikirimkan ke ESP32 melalui UART. ESP32 pun akan menerima pesan UART tersebut dan mengirimkan nilai pH yang diterima ke server Blynk. Blynk akan membaca nilai pH yang diterima dan melakukan otomatisasi. Jika nilai pH kurang dari 6.0 atau lebih dari 7.0, sistem akan mengirim notifikasi ke aplikasi Blynk pada ponsel tentang kadar pH yang terlalu rendah ataupun terlalu tinggi.

G. Perancangan Fungsi Otomatisasi Kecepatan Kipas



GAMBAR 8

(Diagram alir fungsi otomatisasi kecepatan kipas)

Pada Gambar 8 menjelaskan ESP32 akan membaca suhu dan kelembaban dari sensor DHT22. Target yang dicapai adalah pengontrolan kondisi di dalam area *misting* dengan setpoint pada suhu 30 °C dan kelembaban 70%. Terdapat 4 kondisi yang dapat dipenuhi, jika suhu di bawah 25 °C atau kelembaban di bawah 70%, maka kipas akan berjalan dengan kecepatan 25%. Jika suhu berada di 25-30 °C dan kelembaban berada di 70-75%, maka kipas akan berjalan dengan kecepatan 50%. Jika suhu berada di 30-35 °C dan kelembaban berada di 75-80%, maka kipas akan berjalan dengan kecepatan 75%. Jika suhu berada di atas 35 °C atau kelembaban di atas 80%, maka kipas akan berjalan pada kecepatan 100%. Dipilihnya kecepatan terendah di 25% walaupun cukup dingin di bawah 25 °C dan kelembaban rendah di bawah 70% adalah akar tanaman aeroponik tetap memerlukan airflow yang baik sehingga pasokan oksigen tetap berjalan [4]. Kecepatan kipas 75% diatur sebagai kondisi panas dan sangat lembab, sedangkan

kecepatan kipas 100% sebagai kondisi terlalu panas/terlalu lembab. Pada proses set 100%, jika salah satu kondisi terpenuhi, maka kipas akan langsung berjalan dengan kecepatan 100% sebagai bentuk keadaan darurat dan menurunkan suhu dan kelembaban secepat-cepatnya.

H. Perancangan Fungsi Penuangan dan Pengadukan Pupuk Otomatis

Perancangan fungsi p dapat dilihat melalui diagram alir pada 9. Fungsi ini berguna ketika pengguna ingin menambahkan pupuk ke dalam bak air. Cara kerja dari fungsi ini adalah ketika pengguna menghidupkan saklar pompa pupuk pada Blynk, maka program akan mengecek kondisi dalam air bak. Jika sensor mendeteksi jarak air sebesar 22 cm atau 2 liter air, maka pompa pupuk akan menyala selama 4 detik atau mengeluarkan pupuk AB sebanyak 24 ml. Pengguna kemudian dapat menambahkan air sampai batas penuh bak air (6 liter). Lalu pompa *mixer* yang ada di dalam bak air akan hidup dengan sendirinya selama 1 menit untuk mengaduk pupuk AB tersebut. Namun jika terdeteksi air lebih dari 2 liter, maka pompa pupuk hanya akan menyala selama 1 detik atau mengeluarkan pupuk sebanyak 6 ml saja.



GAMBAR 9

(Diagram alir fungsi penuangan dan pengadukan pupuk otomatis)

I. Perancangan Fungsi *Misting* Otomatis

Perancangan fungsi *misting* otomatis dapat dilihat melalui diagram alir pada Gambar 10. Fungsi ini akan melakukan penyiraman selama 4 detik dengan cara mengaktifkan *relay* untuk menghidupkan pompa *misting* yang tersambung dengan bak air. Setelah 4 detik berlalu, maka *relay* akan dimatikan untuk mematikan pompa dengan waktu interval 5 menit. Proses akan terus berulang sampai ESP32 dimatikan oleh pengguna.

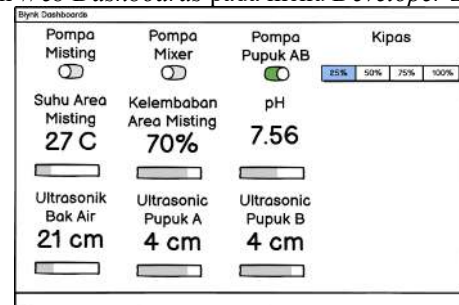


GAMBAR 10

(Diagram alir fungsi *misting* otomatis)

J. Perancangan Antarmuka *Web Dashboards* di Blynk

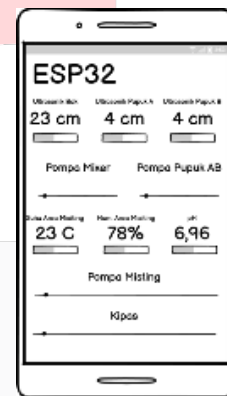
Perancangan antarmuka *Web Dashboards* di Blynk dapat dilihat pada Gambar 11. Perancangan dilakukan dengan mengakses laman Blynk.Console, lalu mengubah susunan *Web Dashboards* pada menu *Developer Zone*.



GAMBAR 11

(Perancangan Antarmuka *Web Dashboards*)

K. Perancangan Antarmuka Aplikasi *Mobile* Blynk



GAMBAR 12

(Perancangan antarmuka aplikasi *mobile* Blynk)

Perancangan antarmuka dapat dilihat pada Gambar 12. Perancangan akan dilakukan dengan membuka aplikasi Blynk pada ponsel. Selanjutnya akan diatur susunan *dashboard* pada menu *Developer Zone*.

IV. IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN

A. Implementasi Perangkat Keras

Implementasi perangkat keras dilakukan dengan cara melakukan kalibrasi alat terlebih dahulu, lalu melakukan pengintegrasian sistem dengan semua komponen yang telah dirancang pada Bab III. Dilakukan kalibrasi alat terlebih dahulu bertujuan untuk memastikan fungsi otomatisasi dapat berjalan cukup konsisten dengan keluaran sesuai dengan yang diharapkan.

- Kalibrasi Kontainer Pupuk AB

Kontainer ini hanya akan memiliki kapasitas maksimum sebesar 300 ml. Hal ini dikarenakan pada tutup kontainer akan dipasangkan sebuah sensor ultrasonik sebagai pengukur sisa pupuk dalam kontainer. Selain itu untuk memberi ruang kosong agar sensor terhindar dari cipratan air dan tetap akurat dikarenakan Untuk hasil pengukuran volume cairan pupuk dengan jarak yang diukur oleh sensor terlampir pada Tabel 1.

TABEL 1
(Hasil pengukuran volume cairan pupuk AB)

Volume cairan pupuk A	Jarak yang diukur oleh sensor ultrasonik
0 ml	6 cm
100 ml	5 cm
200 ml	4 cm
300 ml	3 cm

- Kalibrasi Pompa Galon Elektrik

Modifikasi dilakukan terhadap motor yang berada di dalam pompa galon elektrik. Dilakukan penurunan tegangan yang diberikan ke motor dari 3.3 V menjadi 1.85 V dengan menggunakan sebuah potensiometer. Hal ini dilakukan agar motor bekerja lebih lambat sehingga menghasilkan debit aliran yang lebih rendah. Debit aliran setelah penurunan tegangan adalah 6.0 ml/detik. Hasil perbandingan penyesuaian tegangan terhadap debit aliran antara 3.3 V dengan 1.85 V dapat dilihat pada Tabel 2.

TABEL 2
(Hasil penyesuaian tegangan terhadap debit aliran)

No.	Tegangan 3.3 v	Tegangan 1.85 v
1.	17.0 ml/detik	5.6 ml/detik
2.	17.5 ml/detik	6.3 ml/detik
3.	17.0 ml/detik	5.8 ml/detik
4.	17.0 ml/detik	6.0 ml/detik
5.	18.0 ml/detik	6.3 ml/detik
Rata-rata	17.3 ml/detik	6.0 ml/detik

- Kalibrasi Bak Air

Peneliti membatasi bak ini hanya akan memiliki kapasitas maksimum sebesar 6 liter. Hal ini dikarenakan pada tutup kontainer akan dipasangkan sebuah sensor ultrasonik sebagai pengukur sisa air dalam bak. Selain itu untuk memberi ruang kosong agar sensor terhindar dari cipratan air saat pompa celup melakukan mixing antara pupuk dengan air. Untuk hasil pengukuran banyaknya air dalam bak dengan jarak yang diukur oleh sensor terlampir pada Tabel 3.

TABEL 3
(Hasil pengukuran volume bak air)

Volume air pada bak air	Jarak yang diukur oleh sensor ultrasonik
0 liter	27 cm
1 liter	25 cm
2 liter	22 cm
3 liter	20 cm
4 liter	19 cm
5 liter	18 cm
6 liter	17 cm

- Kalibrasi Kecepatan Kipas

Untuk mendukung proses otomatisasi, dilakukan estimasi volume udara yang dihasilkan oleh kipas saat dioperasikan pada kecepatan 25%, 50%, 75%, dan 100%. Perhitungan nilai CFM pada masing-masing kecepatan tersebut dilakukan menggunakan rumus berikut dan hasil perhitungan dapat dilihat di Tabel 4.

$$CFM_2 = CFM_1 \left(\frac{RPM_2}{RPM_1} \right)^2$$

dengan:

CFM_2 = volume udara yang dicari

CFM_1 = volume udara maksimum

RPM_2 = target kecepatan kipas

RPM_1 = kecepatan kipas maksimum

TABEL 4
(Estimasi volume udara dengan kecepatan berbeda)

Kecepatan Kipas	RPM	CFM
25%	450	3.5
50%	900	14.1
75%	1359	31.7
100%	1800	56.3

- Pengintegrasian Sistem

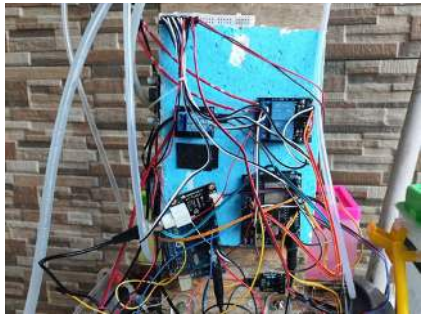
Pengintegrasian sistem dilakukan dengan cara merakit seluruh komponen yang telah dirancang pada Bab III. Proses ini mencakup pemasangan mikrokontroler ESP32 dan Arduino Uno lalu menggabungkannya ke sensor-sensor, beserta dengan aktuator. Berdasarkan hasil implementasi perangkat keras, seluruh komponen berhasil dirakit sesuai desain.



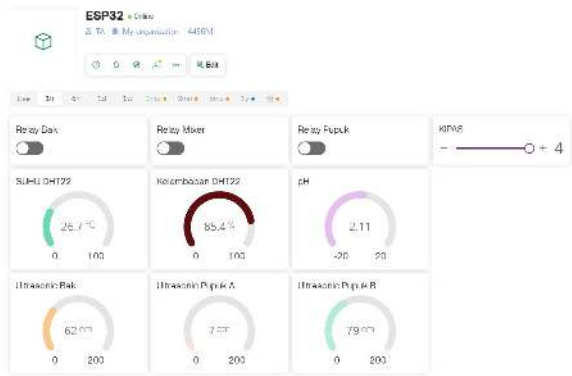
GAMBAR 13
(Tampilan keseluruhan sistem otomatisasi aeroponik setelah dirakit)



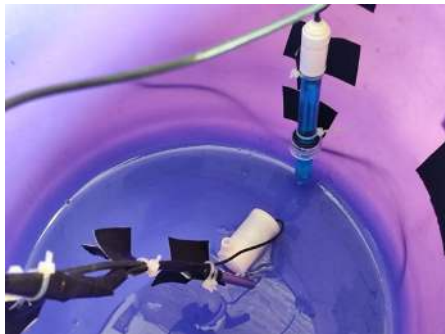
GAMBAR 14
(Mengintegrasikan pompa galon elektrik dengan kontainer pupuk AB)



GAMBAR 15
(Pengintegrasian ESP32 dengan sensor-sensor dan relay)



GAMBAR 18
(Tampilan akhir antarmuka *Web Dashboards* di Blynk)



GAMBAR 16
(Tampilan dalam bak air yang tertanam beberapa komponen)



GAMBAR 19
(Tampilan akhir antarmuka aplikasi *mobile* Blynk)



GAMBAR 17
(Tampilan area *misting* dengan kipas dan sensor DHT22)

B. Implementasi Perangkat Lunak

Implementasi perangkat lunak dilakukan dengan cara mendesain perangkat lunak sesuai dengan rancangan perangkat lunak yang sudah dibahas pada Bab III. Hasil implementasi ini berupa kode sumber yang akan dikompilasi dan ditanamkan ke dalam mikrokontroler untuk menjalankan otomatisasi sistem ini. Selain kode sumber untuk mikrokontroler, implementasi dilakukan pada fitur *Automation* di platform Blynk untuk melakukan pengiriman notifikasi otomatis ke ponsel pengguna. Untuk implementasi antarmuka *Web Dashboards* dan aplikasi *mobile* Blynk dapat dilihat pada Gambar 18 dan 19.

C. Pengujian Perangkat Keras

Perangkat keras yang akan diuji meliputi ESP32, sensor ultrasonik pada bak air dan bak pupuk AB, sensor pH, sensor suhu dan kelembaban DHT22, sensor suhu celup, *single-channel relay*, *single-channel relay*, kipas PWM, pompa DC 12V, pompa *mixer*, dan pompa pupuk.

TABEL 5
(Pengujian perangkat keras)

No.	Pengujian Perangkat Keras	Keberhasilan
1.	Pompa DC 12V dapat menyala dan melakukan <i>misting</i> .	Berfungsi
2.	Kipas PWM berjalan dengan baik serta dapat dikontrol	Berfungsi
3.	ESP32 dapat membaca pesan UART dari Arduino Uno	Berfungsi
4.	Sensor Ultrasonik Pupuk A dapat mengeluarkan nilai jarak dengan baik	Berfungsi
5.	Sensor Ultrasonik Pupuk B dapat mengeluarkan nilai jarak dengan baik	Berfungsi
6.	Sensor Ultrasonik Bak Air dapat mengeluarkan nilai jarak dengan baik	Berfungsi
7.	Sensor DHT22 dapat mengukur suhu dan kelembaban di sekitar	Berfungsi
8.	Sensor suhu celup DS18B20 dapat membaca suhu air	Berfungsi
9.	<i>Single-channel relay</i> dapat mengatur hidup dan matinya pompa <i>misting</i>	Berfungsi
10.	<i>Single-channel relay</i> dapat mengatur hidup dan matinya pompa pupuk dan <i>mixer</i>	Berfungsi
11.	Pompa <i>mixer</i> dapat menyala dalam air dan mengaduk kandungan air	Berfungsi

12.	Sensor pH dapat mengukur nilai pH dengan benar.	Tidak berfungsi
-----	---	-----------------

D. Pengujian Otomatisasi

Pengujian ini menguji keberhasilan dan fungsionalitas dari fungsi otomatisasi yang telah didesain. Pengujian dilakukan dengan cara memperhatikan apakah fungsi otomatisasi sesuai dengan yang diharapkan. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada Tabel 6.

TABEL 6
(Pengujian fungsi otomatisasi)

No.	Fungsi yang Diuji	Harapan yang dicapai	Hasil Uji
1.	Fungsi menghidupkan ESP32 dan inisialisasi Blynk	Terhubung ke WiFi dan server Blynk	Berhasil. ESP32 terhubung ke WiFi dan Blynk dengan baik.
2.	Fungsi notifikasi kepada pengguna tentang nilai pH terlalu rendah atau terlalu tinggi	Pengguna diberitahu jika nilai pH pada bak air terlalu rendah atau tinggi	Gagal. Dikarenakan tidak dapat mendapatkan nilai pH yang stabil sehingga tidak dapat diandalkan.
3.	Fungsi otomatisasi notifikasi sisa air pada bak pupuk AB dan bak air	Pengguna diberitahu jika bak pupuk AB telah tersisa 100ml dan bak air tersisa 2L/	Berhasil. Blynk memberikan notifikasi ke pengguna ketika kondisi terpenuhi.
4.	Fungsi otomatisasi kecepatan kipas	Kecepatan kipas akan berubah	Berhasil. Kipas berubah kecepatan sesuai dengan suhu yang ditetapkan
5.	Fungsi Penuangan dan Pengadukan Pompa Otomatis	Target pemberian banyak pupuk sesuai/mendekati..	Berhasil. Pemberian pupuk mendekati target.
6.	Fungsi <i>misting</i> otomatis	Melakukan <i>misting</i> dengan interval target.	Pompa <i>misting</i> mati dan hidup sesuai dengan interval yang telah diatur.

E. Pengujian Responsivitas

Pengujian dilakukan dengan cara mengukur waktu yang dibutuhkan untuk suatu fungsi untuk melakukan eksekusi perintah setelah pengguna atau otomatisasi melakukan kontrol. Berdasarkan karakteristik sistem aeroponik berskala rumahan, waktu respons yang ideal untuk koneksi ESP32 ke server Blynk adalah ≤ 2000 ms, pembaruan data sensor dari ESP32 ke Blynk adalah ≤ 500 ms, menerima perintah dari Blynk ke ESP32 adalah ≤ 1000 ms, pengiriman notifikasi otomatis ke aplikasi *mobile* Blynk adalah ≤ 1000 ms, dan reaksi antara perubahan kondisi terhadap fungsi otomatisasi adalah ≤ 3000 ms.

TABEL 7
(Perbandingan waktu hasil uji pada *Web Dashboards* Blynk)

No.	Fungsi yang diuji	Standar waktu ideal	Hasil uji rata-rata	Status
1.	Koneksi ESP32 ke server Blynk	≤ 2000 ms	57.2 ms	Memenuhi
2.	Pembaruan data sensor dari ESP32 ke Blynk	≤ 500 ms	217 ms	Memenuhi
3.	Menerima perintah dari Blynk ke ESP32	≤ 1000 ms	642 ms	Memenuhi

TABEL 8

(Perbandingan waktu hasil uji pada aplikasi *mobile* Blynk)

No.	Fungsi yang diuji	Standar waktu ideal	Hasil uji rata-rata	Status
1.	Koneksi ESP32 ke server Blynk	≤ 2000 ms	67.3 ms	Memenuhi
2.	Pembaruan data sensor dari ESP32 ke Blynk	≤ 500 ms	350 ms	Memenuhi
3.	Menerima perintah dari Blynk ke ESP32	≤ 1000 ms	976 ms	Memenuhi
4.	Pengiriman notifikasi otomatis ke aplikasi <i>mobile</i> Blynk	≤ 1000 ms	483 ms	Memenuhi

TABEL 9

(Waktu reaksi fungsi otomatisasi terhadap perubahan kondisi)

No.	Nama Fungsi	Hasil uji rata-rata	Status
1.	Rekoneksi dari koneksi terputus	83 ms	Memenuhi
2.	Pengiriman notifikasi isi pupuk A dan B	442 ms	Memenuhi
3.	Pengiriman notifikasi isi bak air	458 ms	Memenuhi
4.	Pengiriman notifikasi kadar pH rendah dan tinggi	435 ms	Memenuhi
7.	Pengaturan kecepatan kipas dari 50% ke 75%	2310 ms	Memenuhi
8.	Pengaturan kecepatan kipas dari 75% ke 100%	2515 ms	Memenuhi
9.	Pengaturan kecepatan kipas dari 100% ke 75%	2850 ms	Memenuhi
10.	Pengaturan kecepatan kipas dari 75% ke 50%	2930 ms	Memenuhi

Berdasarkan hasil perbandingan pada Tabel 7, 8, dan 9 dapat disimpulkan bahwa sistem ini memiliki responsivitas yang baik dan layak digunakan untuk sistem pemantauan dan pengontrolan aeroponik otomatis berskala kecil. Seluruh fungsi berada dalam batas waktu toleransi dan tidak menunjukkan keterlambatan kritis.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan perancangan, implementasi, dan pengujian sistem otomatisasi berbasis IoT untuk aeroponik horizontal yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem yang dirancang mampu bekerja secara otomatis dalam memantau dan mengatur lingkungan tanaman. Sistem ini melakukan *misting*, pengukuran pH, pemantauan isi air dan pupuk, serta pengontrolan suhu dan kelembaban secara otomatis dengan hasil pengujian menunjukkan bahwa fitur berjalan sesuai yang dirancang. Integrasi antara sensor dan aktuator dengan mikrokontroler ESP32 juga berhasil dilakukan dengan baik. Sistem juga memiliki responsivitas yang dapat memenuhi waktu ideal yang telah ditentukan. Namun sistem terdapat kekurangan pada fungsi otomatisasi notifikasi kadar pH terlalu rendah atau tinggi tidak berjalan dengan semestinya dikarenakan sensor tidak dapat mengukur kadar yang pH dengan baik.

REFERENSI

- [1] I. A. Lakhier *et al.*, "Overview of the aeroponic agriculture – An emerging technology for global food security," *Int. J. Agric. Biol. Eng.*, vol. 13, no. 1, pp. 1–10, 2020, doi: 10.25165/j.ijabe.20201301.5156.D
- [2] Go Green Aquaponics, "What is Aquaponics and How Does it Work? -," Go Green Aquaponics. Accessed: May 21, 2025. [Online]. Available: <https://gogreenaquaponics.com/blogs/news/what-is-aquaponics-and-how-does-it-work>
- [3] Tim Editorial Rumah.com, "Mengenal Aeroponik, Sistem Hidroponik Paling Teknis," Rumah.com. Accessed: Jul. 06, 2022. [Online]. Available: <https://www.rumah.com/panduan-properti/aeroponik-31765>
- [4] I. A. Lakhier, J. Gao, T. N. Syed, F. A. Chandio, and N. A. Buttar, "Modern plant cultivation technologies in agriculture under controlled environment: A review on aeroponics," *J. Plant Interact.*, vol. 13, no. 1, 2018, doi: 10.1080/17429145.2018.1472308.
- [5] AGrowTronics, "Aeroponics - Enhanced Yields," AGrowTronics. Accessed: May 21, 2025. [Online]. Available: <https://www.agrowtronics.com/aeroponics-enhanced-yields/>
- [6] G. V. A. Balansag, E. M. Anud Jr, G. P. A. Balansag, K. M. Anud, and G. N. A. Balansag, "THE EFFECT OF AB MIX NUTRIENT SOLUTION ON THE HEIGHT, NUMBER OF LEAVES AND FRESH WEIGHT OF LETTUCE (*Lactuca sativa* L.) IN HYDROPHONICS CULTIVATION SYSTEM," *Int. J. Appl. Sci. Res.*, vol. 06, no. 02, pp. 93–100, 2022, doi: 10.56293/IJASR.2022.5510.
- [7] H. A. Setiawan, "PENGARUH BEBERAPA MACAM DAN KONSENTRASI PESTISIDA NABATI DALAM PENGELOLAAN HAMA PADA PAKCOY," UNIVERSITAS MERCU BUANA, 2018.
- [8] M. Sheth and P. Rupani, "Smart Gardening Automation using IoT with BLYNK App," in *Proceedings of the International Conference on Trends in Electronics and Informatics, ICOEI 2019*, 2019. doi: 10.1109/icoei.2019.8862591.
- [9] Barbara Thompson, "C++ Programming: What is C++ | Learn Basic Concepts of C++," Guru99. Accessed: Jul. 07, 2022. [Online]. Available: <https://www.guru99.com/cpp-tutorial.html>
- [10] C. Buttice, "What is C++ Programming Language? - Definition from Techopedia," Techopedia. Accessed: Jul. 07, 2022. [Online]. Available: <https://www.techopedia.com/definition/26184/c-plus-plus-programming-language>
- [11] Educative Answers Team, "What is C++?," Educative.io. Accessed: Jul. 07, 2022. [Online]. Available: <https://www.educative.io/answers/what-is-cpp>
- [12] I. Syukhron, "Penggunaan Aplikasi Blynk untuk Sistem Monitoring dan Kontrol Jarak Jauh pada Sistem Kompos Pintar berbasis IoT," *Electrician*, vol. 15, no. 1, 2021, doi: 10.23960/elc.v15n1.2158.
- [13] Simon Monk, "Lies, Damn Lies and Analog Inputs (comparing ADCs on ESP32, Pico and Arduino)." Accessed: May 08, 2025. [Online]. Available: <https://www.doctormonk.com/2024/01/comparingadcs.html>
- [14] Avery Louie, "Arduino, ESP32, SAMD21, ADS1015 ADC Comparison – AyLo." Accessed: May 08, 2025. [Online]. Available: <https://aylo6061.com/2022/05/27/arduino-esp32-samd21-ads1015-adc-comparison/>