

**SISTEM PEMANTAUAN DAN PENGENDALIAN
KELEMBAPAN TANAH BERBASIS IOT UNTUK TANAMAN
ANGGUR MENGGUNAKAN WSN**

Tugas Akhir

diajukan untuk memenuhi salah satu syarat

memperoleh gelar sarjana

dari Program Studi Teknologi Informasi (Kampus Kota Surabaya)

Fakultas Informatika

Universitas Telkom

1202200040

Saiful Miladi



**Program Studi Sarjana Teknologi Informasi (Kampus Kota
Surabaya)**

Fakultas Informatika

Universitas Telkom

Surabaya

2024

LEMBAR PENGESAHAN

**SISTEM PEMANTAUAN DAN PENGENDALIAN KELEMBAPAN TANAH
BERBASIS IOT UNTUK TANAMAN ANGGUR MENGGUNAKAN WSN**

***IOT-BASED SOIL MOISTURE MONITORING AND CONTROL SYSTEM FOR
GRAPES USING WSN***

NIM : 1202200040

Saiful Miladi

Tugas akhir ini telah diterima dan disahkan untuk memenuhi sebagian syarat memperoleh gelar pada Program Studi Sarjana Teknologi Informasi (Kampus Kota Surabaya)

Fakultas Informatika

Universitas Telkom

Surabaya, 15 Agustus 2024

Menyetujui

Pembimbing I



Khodijah Amiroh, S.ST., M.T.

NIP.19920005

Pembimbing II,



Philip Tobianto Daely, S.T., M.Eng., Ph.D.

NIP.19940002

Ketua Program Studi
Sarjana Teknologi Informasi,



Bernadus Anggo Seno Aji, S.T., M.Kom.
NIP: 23929008

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya, SAIFUL MILADI, menyatakan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir saya dengan judul SISTEM PEMANTAUAN DAN PENGENDALIAN KELEMBAPAN TANAH BERBASIS IOT UNTUK TANAMAN ANGGUR MENGGUNAKAN WSN beserta dengan seluruh isinya adalah merupakan hasil karya sendiri, dan saya tidak melakukan penjiplakan yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Saya siap menanggung resiko/sanksi yang diberikan jika di kemudian hari ditemukan pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam buku TA atau jika ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya,

Surabaya, 15 Agustus 2024

Yang Menyatakan



Saiful Miladi

SISTEM PEMANTAUAN DAN PENGENDALIAN KELEMBAPAN TANAH BERBASIS IOT UNTUK TANAMAN ANGGUR MENGGUNAKAN WSN

Saiful Miladi, Khodijah Amiroh, Philip Tobianto Daely

Fakultas Informatika, Universitas Telkom, Surabaya
Saifulmiladi@students.telkomuniversity.ac.id, dijaamirah@telkomuniversity.ac.id,
philipdaely@telkomuniversity.ac.id,

Abstrak

Kelembapan tanah merupakan faktor penting dalam tanaman anggur. Kelembapan tanah yang tidak terjaga dapat menurunkan kualitas pertumbuhan dan hasil panen yang kurang optimal. Penelitian ini mengembangkan sistem pemantauan dan pengendalian kelembapan tanah berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk tanaman anggur menggunakan *Wireless Sensor Network* (WSN). Sistem ini dirancang untuk memantau kelembapan dan suhu tanah serta mengendalikan penyiraman secara otomatis dengan menggunakan logika *fuzzy*. Sistem terdiri dari sensor node dan master node yang berfungsi mengumpulkan dan mengirimkan data ke pusat pengolahan. Data kelembapan dan suhu tanah yang diperoleh digunakan untuk mengatur frekuensi dan volume penyiraman tanaman anggur melalui metode logika *fuzzy*, memastikan tanaman mendapatkan jumlah air yang optimal. Pengujian menunjukkan bahwa sistem ini efektif dalam memantau dan mengendalikan kelembapan tanah, meningkatkan efisiensi penggunaan air, dan memberikan data akurat untuk mendukung pertumbuhan optimal tanaman anggur. Kalibrasi sensor dilakukan untuk memastikan akurasi pengukuran dan menghindari nilai yang tidak valid. Meskipun menghadapi beberapa tantangan, seperti adanya fluktuasi nilai, keterbatasan data sensor dan masalah koneksi *hardware*, sistem ini menunjukkan keberhasilan dalam menjaga kelembapan dalam rentang 60-80% dan efisiensi penggunaan air serta berpotensi dalam meningkatkan praktik budidaya anggur di *greenhouse*.

Kata kunci : *Internet of things*, *Wireless sensor network*, logika *fuzzy*, penyiraman, anggur.

Abstract

Soil moisture is an important factor in grape plants. Unmaintained soil moisture can reduce the quality of growth and yields that are less than optimal. This study develops an *Internet of Things* (IoT)-based soil moisture monitoring and control system for grape plants using a *Wireless Sensor Network* (WSN). This system is designed to monitor soil moisture and temperature and control watering automatically using fuzzy logic. The system consists of sensor nodes and master nodes that function to collect and send data to the processing center. The soil moisture and temperature data obtained are used to regulate the frequency and volume of watering grape plants through the fuzzy logic method, ensuring that plants get the optimal amount of water. Tests show that this system is effective in monitoring and controlling soil moisture, increasing water use efficiency, and providing accurate data to support optimal grape growth. Sensor calibration is carried out to ensure measurement accuracy and avoid invalid values. Despite facing several challenges, such as fluctuations in values, limited sensor data and hardware connection problems, this system has shown success in maintaining humidity in the range of 60-80% and water use efficiency and has the potential to improve grape cultivation practices in greenhouses.

Keywords: *Internet of things*, *Wireless sensor network*, fuzzy logic, irrigation, grapes.

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Kelembapan tanah pada tanaman Anggur (*Vitis Vinifera*) merupakan faktor penting yang harus diperhatikan. Kelembapan tanah yang tidak terjaga dengan baik dapat menyebabkan penurunan kualitas pertumbuhan dan hasil panen buah anggur yang kurang optimal[1]. Dalam praktik budidaya anggur pada *greenhouse*, permasalahan terkait kelembapan tanah sering kali menjadi salah satu tantangan akibat dari lokasi yang memiliki kadar kelembapan yang tidak sesuai dengan kebutuhan tanaman. Pengendalian yang tepat terhadap kelembapan tanah merupakan faktor kunci dalam memastikan kondisi pertumbuhan yang optimal bagi tanaman anggur[2].

Penelitian ini memfokuskan pada penerapan *Internet of Things* (IoT) dan *Wireless Sensor Network* (WSN) untuk mengontrol kelembapan tanah dan memantau kondisi tanaman secara langsung. Sistem penyiraman otomatis berbasis ESP8266 yang didukung oleh logika fuzzy bertujuan untuk mengoptimalkan penggunaan air dari pompa berdasarkan data sensor kelembapan dan suhu tanah[3]. Logika fuzzy berperan dalam menentukan durasi pompa air menyala dan menjaga kadar kelembapan tanah pada rentang 60-80%. Sementara itu, WSN dengan modul NRF24L membentuk suatu jaringan sensor yang terdiri dari 2 Bagian yaitu *Sensor Node* yang berperan untuk mengumpulkan serta mengirimkan data ke pusat dan *Master Node* yang berperan sebagai pusat kontrol untuk mengumpulkan data yang kemudian diproses dan dipantau secara bersamaan menggunakan aplikasi *Blynk*, dalam membantu mengidentifikasi dan memantau keadaan setiap tanaman[4][5].

Penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan solusi yang efektif guna menjaga kelembapan tanah dalam rentang yang ideal [6]. Solusi ini bertujuan untuk memberikan kontrol lebih terhadap kondisi kelembapan dan suhu tanah tanaman, memastikan efisiensi penggunaan air, dan penyiraman otomatis untuk tanaman anggur agar menerima jumlah air yang memadai tanpa mengalami risiko akibat kelebihan atau kekurangan kelembapan [7].

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan dan pengendalian kelembapan tanah berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk tanaman anggur dengan menggunakan *Wireless Sensor Network* (WSN) yang mampu mengoptimalkan penggunaan air melalui metode logika *fuzzy* berdasarkan data kelembapan dan suhu tanah yang diperoleh dari sensor.

1.3 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem *Internet of Things* (IoT) berbasis *Wireless Sensor Network* (WSN) untuk memantau dan mengendalikan kelembapan tanah demi pertumbuhan optimal tanaman anggur. Selanjutnya, dengan memanfaatkan data kelembapan tanah dari WSN dan metode logika *fuzzy*, penelitian ini mengoptimalkan frekuensi dan volume penyiraman tanaman anggur. Manfaatnya termasuk peningkatan efisiensi penggunaan air dalam irigasi anggur, yang dapat berdampak pada pengembangan sistem irigasi yang lebih efisien secara keseluruhan.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki beberapa batasan yang perlu diperhatikan, di antaranya adalah keterbatasan data sensor yang hanya mencakup kelembapan dan suhu tanah pada media tanam tanaman anggur. Selain itu, ruang lingkup pengambilan data yang dilakukan di greenhouse Universitas Telkom Surabaya menyebabkan fluktuasi nilai yang mempengaruhi hasil pengukuran. Keterbatasan sumber daya juga menjadi tantangan, terutama dalam penggunaan perangkat sensor yang terbatas, yang dapat mempengaruhi kinerja sistem penyiraman dan menghasilkan data yang mungkin mengandung nilai yang tidak valid.

2. Studi Terkait

Penelitian pertama membahas tentang pengembangan aplikasi penyiraman tanaman otomatis berbasis IoT menggunakan Node Mcu V3 ESP8266 disertai sensor kelembapan tanah dan DHT22 sebagai pengukurnya. Sistem dapat melakukan penyiraman secara otomatis berdasarkan kondisi sensor memberitahukan kadar kelembapan kurang dari 50% dan berhenti ketika sudah melebihi dari 50%. Data dari Sensor juga dapat diamati secara langsung pada LCD yang sudah diprogram [8].

Penelitian kedua membahas alat monitoring kelembapan tanah dan penyiram otomatis untuk tanaman okra. Alat ini menggunakan sensor kelembapan tanah, Arduino Uno, pompa air, modul relay, LCD, modul *stepdown* XL4015, dan Sim800L. Hasil implementasi alat menunjukkan kebutuhan air yang cukup untuk membasahi tanah dalam *polybag* 5kg adalah 500ml air dengan lama aktivitas pompa 18 detik [9].

Penelitian ketiga menjelaskan tentang sistem otomatis penyiraman sawi hijau menggunakan sensor kelembapan tanah dan sensor DHT11 berbasis Arduino. Spesifikasi sensor kelembapan tanah mencakup tegangan input 3,3-5 volt, tegangan output 0-4,2 volt, arus input 35 mA, dan sinyal output analog (A0) dan digital (D0). Sensor DHT11 memiliki kemampuan membaca suhu dan kelembapan udara, dengan output berupa *single-wire bi-directional* dengan tujuan mengoptimalkan pertumbuhan tanaman [10].

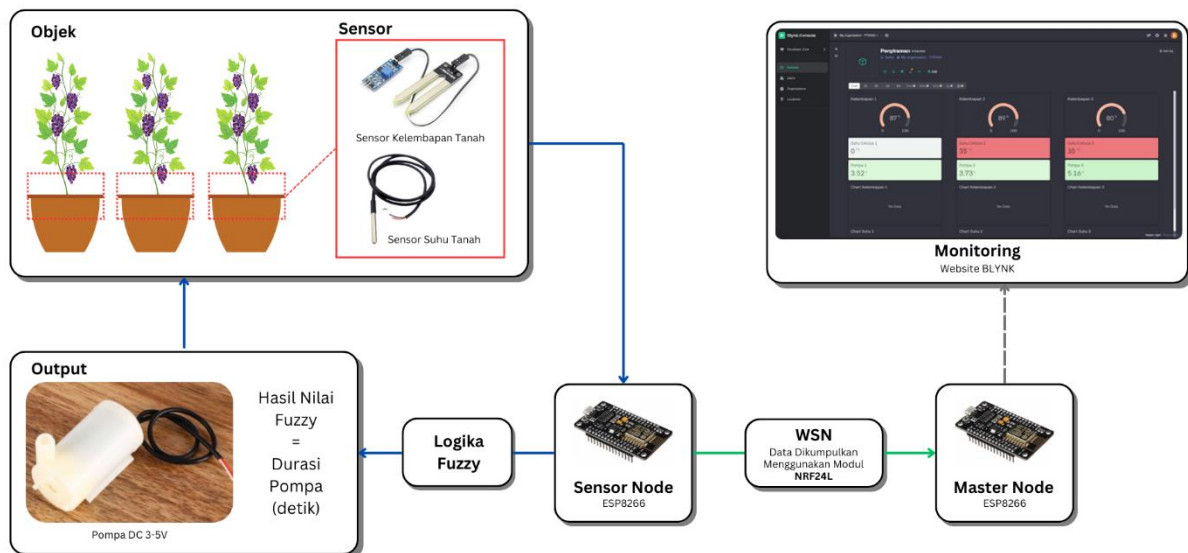
Penelitian keempat membahas tentang perancangan dan pengujian alat pengendalian kelembapan tanah dan suhu lingkungan tanaman berbasis NodeMCU ESP8266. Alat ini menggunakan sensor YL69 untuk mengukur kelembapan tanah dan sensor DHT11 untuk mengukur suhu lingkungan. Aplikasi *Blynk* digunakan untuk mengendalikan alat melalui smartphone [11].

Penelitian kelima membahas rancang bangun sistem pemantauan dan kendali budidaya anggur berbasis Android dengan penerapan *Internet of Things* (IoT). Sistem ini memantau dan mengendalikan suhu udara, kelembapan udara, dan kelembapan tanah secara otomatis dengan tingkat akurasi yang tinggi. Implementasi menggunakan NodeMCU ESP32, sensor DHT11, sensor *Capacitive Soil Moisture*, modul Relay, *Mist Maker*, dan Pompa [12].

3. Sistem yang Dibangun

3.1 Metode yang digunakan

Metode yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari dua bagian utama, yaitu pengumpulan data menggunakan *Wireless Sensor Network* (WSN) dan pengolahan data sensor menggunakan logika *fuzzy* untuk mendapatkan nilai output berupa durasi dari pompa air dinyalakan. Kedua metode ini bekerja secara sinergis untuk memastikan kelembapan tanah dapat dipantau dan dikendalikan secara langsung.

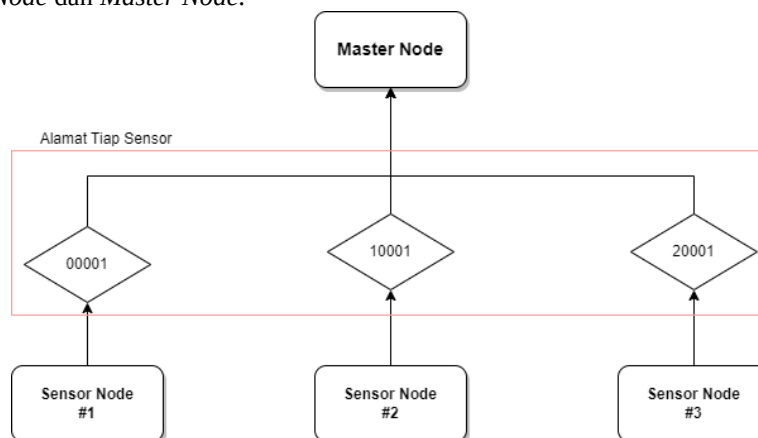


Gambar 3.1 Desain Sistem

Gambar 3.1 merupakan gambaran alur sistem *monitoring* dan pengendalian kelembapan tanah pada tanaman anggur. Proses kerja sistem ini mempunyai 2 tahapan proses yang akan dijelaskan sebagai berikut :

3.1.1 WSN

Wireless Sensor Network (WSN) adalah jaringan komunikasi nirkabel yang terdiri dari berbagai sensor yang ditempatkan di berbagai lokasi. Fungsi WSN adalah untuk mengumpulkan dan mengirimkan data ke pusat pengolahan data melalui jaringan nirkabel. Dalam penelitian ini, WSN digunakan dengan pembagian dua jenis node, yaitu *Sensor Node* dan *Master Node*.



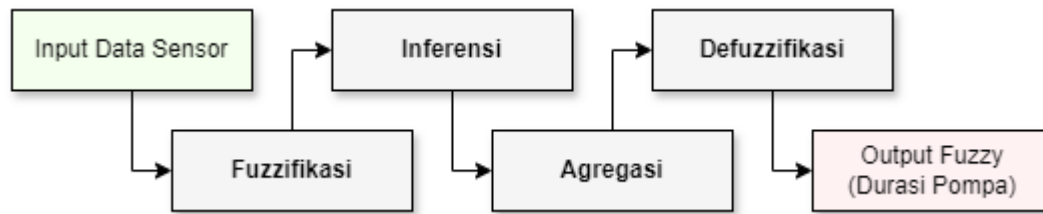
Gambar 3.2 Topologi Jaringan WSN

Berdasarkan Gambar 3.2, *Sensor Node* mengirimkan data dari sensor, termasuk output durasi pompa air yang terhubung dengan tanaman. Di setiap titik pengukuran, *Node* ini alamat yang berfungsi untuk memantau kondisi tiap tanaman dan mengirimkannya ke pusat kontrol. Sebaliknya, *Master node* berfungsi sebagai pusat kontrol dan penerima, mengumpulkan semua informasi yang dikirimkan oleh *Sensor node*. Data yang terkumpul kemudian diunggah ke platform *Blynk* untuk memudahkan visualisasi dan pemantauan data.

Tabel 1 pada lampiran dilakukan analisis *delay* pada tiap *Sensor Node* menunjukkan bahwa jarak pengukuran mempengaruhi kecepatan transmisi data. Pada jarak 5 meter, rata-rata *delay* hanya 1ms untuk semua *Sensor Node*, namun di 50 meter, *delay* meningkat hingga 8ms. Hal ini menunjukkan bahwa efisiensi pengiriman data berkurang seiring dengan bertambahnya jarak antara *Sensor Node* dan *Master Node*. Akan tetapi, dalam penelitian ini tidak terlalu berpengaruh dalam proses pengiriman dan pengumpulan data.

3.1.2 Logika Fuzzy

Logika Fuzzy adalah metode dalam sistem kontrol yang menangani ketidakpastian dalam pengambilan keputusan. Metode ini digunakan untuk menentukan durasi pompa menyala melalui proses fuzzifikasi, inferensi, agregasi, dan defuzzifikasi berdasarkan nilai input berupa data kelembapan tanah dan suhu tanah.



Gambar 3.3 Alur Sistem Logika Fuzzy

Pada Gambar 3.3 merupakan alur sistem dari logika fuzzy yang prosesnya meliputi *fuzzification* di mana nilai (x) merupakan data numerik yang diterima dari sensor diubah menjadi nilai linguistik *fuzzy*. Data kemudian dimasukkan ke dalam kategori berdasarkan masing-masing anggota kelompok nilai seperti pada gambar 7 dan 8 di lampiran, untuk data kelembapan tanah yaitu "kering", "lembab", dan "basah". kemudian untuk data suhu tanah yaitu "dingin", "normal", dan "panas". Hal ini bertujuan membantu menggambarkan informasi lebih akurat untuk pemrosesan berikutnya.

$$\mu_{Trapezoidal}(x) = \begin{cases} 0 & \text{jika } x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{jika } a \leq x \leq b \\ 1 & \text{jika } b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & \text{jika } c \leq x \leq d \\ 0 & \text{jika } x > d \end{cases} \quad (1)$$

Kemudian masuk ke tahap Inferensi, tahap di mana aturan-aturan *fuzzy* yang telah ditetapkan digunakan untuk menentukan output *fuzzy* berdasarkan hasil nilai keanggotaan input fuzzy. Aturan yang memiliki nilai keanggotaan akan ditetapkan sebagai aturan selanjutnya akan digunakan dalam menentukan nilai output.

Berikutnya adalah Agregasi, yaitu proses menggabungkan menghitung nilai dari aturan-aturan yang berlaku untuk mencari nilai luas dan nilai *central* dari aturan yang memiliki nilai keanggotaan tertinggi. Ini memastikan bahwa semua kondisi yang relevan dipertimbangkan dalam menentukan hasil akhir.

$$Luas = z \cdot (d - a) \quad (3)$$

Pada rumus mencari luas, nilai (z) merupakan nilai keanggotaan tertinggi dari hasil fuzzifikasi dimana keanggotaan dari output yang ada di aturan tersebut juga yang nilainya digunakan seperti nilai akhir (d) dan nilai awal (a) pada tiap output keanggotaan.

$$Central = \frac{(a + b + c + d)}{4} \quad (4)$$

Pada rumus *Central*, (a, b, c , dan d) merupakan nilai dari output keanggotaan yang digunakan.

$$\mu_{output}(z) = Luas \times Central \quad (5)$$

Dan terakhir, untuk menentukan nilai output dari aturan yang digunakan adalah menggabungkan nilai *Luas* dan nilai *Central*.

Tahap terakhir yaitu *Defuzzification*, proses ini mengubah nilai keluaran *fuzzy* kembali menjadi nilai numerik yang dapat diimplementasikan. Proses ini memastikan bahwa hasil akhir dapat diterapkan oleh sistem untuk menentukan durasi menyalanya pompa air ke tanaman.

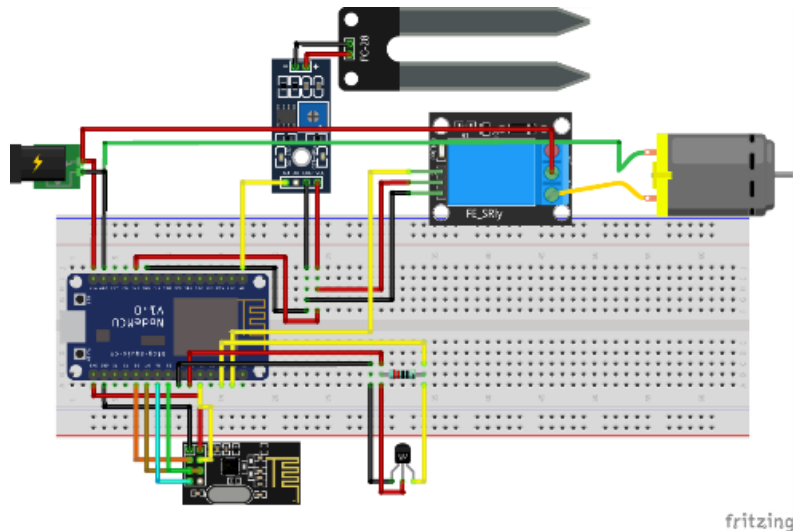
$$z^* = \sum \frac{\mu_{output}(z)}{Luas} \quad (6)$$

Pada rumus defuzzifikasi, nilai ($\mu_{output}(z)$) dan nilai (*Luas*) dari tiap aturan yang memiliki nilai input keanggotaan akan digabungkan semua untuk mendapatkan dan mengubah menjadi nilai output yang akan menjadi durasi (detik) pompa air akan menyala.

3.2 Perancangan Sistem

Perancangan sistem berfokus pada desain dan rancangan alat yang terbagi menjadi 2 bagian yaitu *Sensor Node* sebagai pengirim data dan *Master Node* yang mempunyai fungsi untuk menjadi pusat serta mengumpulkan data dari masing-masing *Sensor Node*. Berikut merupakan penjelasan mengenai rancangan sistem *Master Node* dan *Sensor Node*.

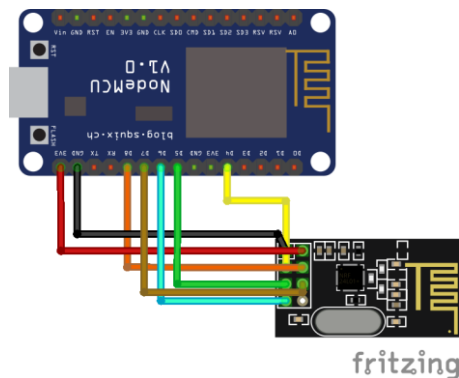
3.2.1 Sensor Node



Gambar 3.4 Rancangan Sensor Node

Gambar 3.4 merupakan rancangan sistem *Sensor Node*. *Sensor Node* adalah unit pengumpulan data yang ditempatkan di sekitar tanah tanaman anggur untuk mengukur kelembapan dan suhu tanah. Data yang diterima dari sensor kemudian diproses dan dianalisis menggunakan logika *fuzzy* untuk mengaktifkan pompa air. Setiap *Sensor Node* terdiri dari sensor kelembapan tanah, sensor suhu tanah, mikrokontroler ESP8266 untuk pengolahan data lokal, relay 5 volt beserta pompa air, dan modul komunikasi NRF24L01+ untuk mengirimkan data ke *Master Node*.

3.2.2 Master Node



Gambar 3.5 rancangan master node

Gambar 3.5 merupakan rancangan sistem *Master Node*. *Master Node* adalah pusat dari sistem pemantauan dan pengendalian kelembapan tanah berbasis IoT ini. *Master Node* bertugas menerima data dari *sensor node* yang tersebar di berbagai titik pengukuran. Data yang diterima kemudian diunggah ke platform *Blynk*, sehingga data dapat diakses dan dimonitor oleh pengguna. Komponen *Master Node* meliputi mikrokontroler ESP8266, modul komunikasi NRF24L01+ untuk komunikasi dengan *sensor node*, dan modul *Wi-Fi* untuk konektivitas internet.

3.3 Kalibrasi Sistem

Kalibrasi sistem merupakan langkah dalam memastikan akurasi pengukuran yang dilakukan oleh setiap sensor maupun output sistem. Tujuan dilakukan kalibrasi agar hasil pengukuran data mencapai nilai yang akurat dan agar terhindar dari pengukuran yang tidak valid. Berikut merupakan kalibrasi yang dilakukan pada penelitian ini.

3.3.1 Kalibrasi Sensor Kelembapan Tanah

Tabel 3.1 Tabel Kalibrasi Sensor Kelembapan Tanah

No	Sensor Kelembapan	Nilai Min	Nilai Max
1	Sensor 1	1023	150
2	Sensor 2	1023	200
3	Sensor 3	1023	125

Sensor kelembapan tanah memiliki output analog yang berkisar dari 0 hingga 1023. Akan tetapi, beberapa sensor tidak dapat mencapai nilai yang telah ditentukan. Pada Tabel 3.1, Kalibrasi dilakukan untuk menentukan nilai minimal dan nilai maksimal pada setiap sensor untuk menemukan nilai akurat dan mempermudah perhitungan.

3.3.2 Kalibrasi Sensor Suhu Tanah

Tabel 3.2 Tabel Kalibrasi Sensor Suhu Tanah

No	Keadaan	Nilai Termometer	Nilai Akurasi			Akurasi
			Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3	
1	Suhu ruangan	28°C	28,4°C	28,4°C	28,4°C	100%
2	Suhu air dingin	14°C	14,1°C	14,1°C	14,1°C	100%
3	Suhu air panas	48°C	48,9°C	48,9°C	48,9°C	100%

Sensor suhu memiliki output digital yang langsung menampilkan data suhu dengan nilai celcius. Dapat dilihat pada Tabel 3.2, kalibrasi dilakukan dengan membandingkan sensor suhu tanah dengan termometer. Kemudian dibandingkan data dari sensor suhu untuk memastikan terdapat selisih nilai dengan hasil pengukuran termometer.

3.3.3 Kalibrasi Pompa Air

Tabel 3.3 Tabel Kalibrasi Pompa Air

No	Pompa air	Durasi mengisi Botol 1,5 L					Rata-rata	Kecepatan pompa per detik
		ke-1	ke-2	ke-3	ke-4	ke-5		
1	pompa 1	50 detik	52 detik	53 detik	49 detik	51 detik	51 detik	29,4 ml/detik
2	pompa 2	47 detik	49 detik	48 detik	46 detik	50 detik	48 detik	31,2 ml/detik
3	pompa 3	50 detik	48 detik	49 detik	47 detik	51 detik	49 detik	30,6 ml/detik

Tabel 3.3 merupakan hasil dari kalibrasi setiap pompa air. Kalibrasi dilakukan untuk menentukan laju pompa air per detik ketika diberikan tegangan 5 volt dan untuk menghitung berapa banyak volume air dalam *mililiter* yang dikeluarkan pompa dalam tiap penyiraman dilakukan.

3.4 Sistem Monitoring

Blynk adalah platform IoT yang digunakan untuk memantau data melalui aplikasi *mobile* atau *web dashboard*. Data yang dikumpulkan oleh *Sensor Node* dikirimkan ke *Master Node*, yang kemudian mengunggah data tersebut ke server *Blynk*. Pada Gambar 3.3, *Dashboar Blynk* dikonfigurasi untuk menampilkan data kelembapan dan suhu tanah yang menerima data dari *Master Node*. Pengguna dapat melihat grafik kelembapan dan suhu tanah, serta status pompa air menyala dalam kurun Waktu berapa detik. penggunaan *Blynk* bermanfaat untuk memastikan pengguna selalu mendapatkan data terkini mengenai kondisi tanah tanaman anggur.

4. Evaluasi

4.1 Hasil Pengujian

Pada Gambar 2 di lampiran, ditampilkan sistem yang sudah dirangkai dimana ESP dan sensor-sensor yang sudah terdapat NRF24L+ serta pemberian daya dari adaptor dan ditempatkan di suatu tempat agar terlindungi sebelum dipasang di lokasi yang sebenarnya. Sistem yang terpasang terdiri dari 3 *Sensor Node* yang dilengkapi dengan modul WSN, yang nantinya akan dipasang di 3 tanaman anggur dengan model pemasangan yang sama persis seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 di lampiran.

Selain itu, dibuat juga 1 alat yang berfungsi sebagai *Master Node* untuk mengumpulkan data. *Master Node* ini dapat dilihat pada Gambar 3.2, menggunakan modul WSN dengan jaringan sensor yang sama agar dapat menerima data dari ketiga *Sensor Node* dengan frekuensi radio yang sama. hasil pengujian ini, alat mengambil data setiap 6 menit sekali pada jam 08:00 hingga 09:00 dan jam 16:00 hingga 17:00 dengan total 7 hari.

Selanjutnya, dilakukan pendataan mengenai total volume air yang digunakan dalam setiap sesi penyiraman. Pengukuran dilakukan dengan mencatat volume air yang dipompa dari setiap pompa, yang masing-masing memiliki kecepatan aliran berbeda. Data ini penting untuk menentukan berapa banyak air yang dibutuhkan oleh tanaman untuk mencapai kondisi kelembapan tanah yang optimal dan menganalisis seberapa efisien sistem yang dibangun.

4.2 Analisis Hasil Pengujian

4.2.1 Hasil Uji Sistem

Pada Tabel 2 di lampiran, ditampilkan data yang diperoleh dari setiap ESP yang berperan sebagai *Sensor Node*. Data yang ditampilkan merupakan rata-rata dari 10 pengukuran. Tujuan dari penyajian data ini adalah untuk menunjukkan bahwa sistem ini berhasil mengukur dan menghasilkan kadar kelembapan tanah pada nilai 60 – 80% yang optimal berdasarkan pada penelitian [13]. Namun, terdapat beberapa nilai yang menunjukkan persentase kelembapan di atas 80%. Hal ini disebabkan oleh beberapa kendala pada sensor kelembapan tanah, seperti kabel yang terputus atau data yang tidak terkirim ke *Master Node*.

Kondisi serupa juga ditemukan pada data sensor suhu tanah. Pada Tabel 3 pada lampiran, terlihat bahwa beberapa data menunjukkan perbedaan antara nilai awal dan nilai akhir suhu tanah. Pada beberapa kasus, nilai awal suhu tanah cenderung lebih rendah, namun setelah penyiraman, terjadi peningkatan suhu. Hal ini disebabkan oleh air yang digunakan untuk penyiraman terpapar sinar matahari terlalu lama atau dibiarkan di tempat terbuka sehingga mengalami kenaikan suhu. Meskipun demikian, suhu tanah masih berada dalam batas normal suhu lingkungan.

Dari kedua set data tersebut, ditemukan adanya fluktuasi nilai yang menunjukkan bahwa sensor mengalami kesalahan dalam membaca data. Kesalahan ini menyebabkan adanya lonjakan nilai yang signifikan, yang dapat mempengaruhi hasil output dari sistem penyiraman. Ketidakakuratan ini mungkin disebabkan oleh beberapa faktor, seperti gangguan sinyal, kondisi lingkungan yang ekstrem, atau penurunan kualitas perangkat sensor seiring waktu. Untuk mengatasi masalah ini, diperlukan kalibrasi sensor secara berkala serta perawatan rutin untuk memastikan sensor berfungsi dengan baik. Selain itu, pengembangan algoritma yang lebih canggih dapat diterapkan untuk mendeteksi dan mengoreksi anomali data secara otomatis.

4.2.2 Hasil Uji WSN

Uji coba *Wireless Sensor Network* (WSN) dilakukan untuk memantau data yang masuk ke *Master Node*. Tujuan utama uji coba ini adalah untuk memastikan apakah data berhasil diterima atau tidak. Pada Tabel 4 di lampiran, hasil uji coba menunjukkan bahwa data dari sensor node secara konsisten berhasil dikirimkan ke *Master Node* untuk dipantau. Namun, terdapat 4 dari 420 pengiriman di mana data gagal dikirimkan. Penyebab utama kegagalan ini adalah suhu lingkungan yang tinggi, yang menyebabkan modul NRF24L01+ yang terhubung dengan ESP8266 mengalami *overheat*, sehingga modul tersebut gagal mengirimkan data.

Selain itu, permasalahan hardware juga menjadi faktor kegagalan pengiriman data. Kabel yang menghubungkan ESP8266 dengan modul NRF24L01+ terkadang tidak terhubung dengan baik atau longgar, sehingga data yang dikirimkan oleh modul NRF24L01+ tidak dapat terbaca oleh *Master Node*. Masalah ini menunjukkan pentingnya memastikan kondisi lingkungan yang sesuai dan koneksi *hardware* yang kuat dan stabil untuk menjaga kinerja sistem WSN yang optimal.

4.2.4 Analisis Perbandingan Volume Air Setiap Pompa Dengan Penyiraman Manual

Perbandingan ini dilakukan untuk menganalisis volume air yang dipompa oleh setiap pompa air (Pompa Air 1, Pompa Air 2, dan Pompa Air 3) serta volume air yang digunakan dalam penyiraman manual. Data dari Tabel 4.5 digunakan untuk melihat efisiensi masing-masing perangkat serta perbandingan dengan penyiraman manual.

Tabel 4.3 Perbandingan Volume Air

Hari dan Tanggal	Waktu	Volume Pompa Air 1	Volume Pompa Air 2	Volume Pompa Air 3	Volume Air Penyiraman Manual
Kamis, 9-5-2024	08:00 - 09:00	2940.0 ml	4062.24 ml	2441.88 ml	5872,3 ml
	16:00 - 17:00	1625.82 ml	3631.68 ml	3063.06 ml	6287,97 ml
Jumat, 10-5-2024	08:00 - 09:00	1069.27 ml	1211.81 ml	1401.17 ml	6006,91 ml
	16:00 - 17:00	1678.44 ml	1381.23 ml	1579.58 ml	5862,21 ml
Sabtu, 11-5-2024	08:00 - 09:00	1822.78 ml	2340.01 ml	1170.75 ml	5559,14 ml
	16:00 - 17:00	1586.74 ml	898.87 ml	2840.28 ml	6114,74 ml
Minggu, 12-5-2024	08:00 - 09:00	2309.96 ml	1149.41 ml	1112.93 ml	-
	16:00 - 17:00	1342.41 ml	2334.69 ml	1577.73 ml	-
Senin, 13-5-2024	08:00 - 09:00	1879.54 ml	1542.86 ml	1103.43 ml	6909,16 ml
	16:00 - 17:00	2269.39 ml	2466.33 ml	2061.52 ml	5458,6 ml
Selasa, 14-5-2024	08:00 - 09:00	1891.0 ml	1602.14 ml	1116.0 ml	-

	16:00 - 17:00	2017.72 ml	2045.13 ml	2690.05 ml	5822,24 ml
Rabu, 15-5-2024	08:00 - 09:00	1098.1 ml	1935.02 ml	1102.22 ml	5920,11 ml
	16:00 - 17:00	2059.46 ml	2616.42 ml	2497.26 ml	6813,99 ml

Dari data yang ditampilkan dalam Tabel 4.3, volume air yang dipompa oleh setiap pompa berbeda-beda setiap harinya. Pompa Air 1 menunjukkan variasi volume yang signifikan dengan rata-rata volume air yang dipompa sekitar 1825 ml per sesi. Pompa Air 2 cenderung memompa volume air yang lebih besar dengan rata-rata sekitar 2325 ml per sesi, sementara Pompa Air 3 memiliki rata-rata volume air sekitar 1875 ml per sesi.

Perbandingan ini juga dilakukan untuk menampilkan data volume air yang dikeluarkan masing-masing pompa setiap hari dengan penyiraman manual. Penyiraman manual dilakukan dengan menyalakan pompa yang mengalirkan air ke pipa-pipa selama sekitar 6-11 menit. Waktu penyiraman manual ini tidak selalu konsisten karena pompa air dinyalakan dan dimatikan secara acak, sehingga durasi penyiraman manual berbeda-beda setiap kali dilakukan. Pengukuran volume air pada penyiraman manual dilakukan dengan mengarahkan pipa ke dalam wadah yang memiliki garis ukur untuk mengamati total volume air yang dikeluarkan.

Pada Tabel 4.3, dapat terlihat bahwa penyiraman manual menghasilkan volume air dengan total rata-rata sebanyak 6057,03 ml per penyiraman. Hal ini menyebabkan air merembes atau keluar dari bawah *polybag*/media tanam anggur. Penyiraman yang berlebihan ini dapat mengakibatkan kelembaban yang berlebih di sekitar akar tanaman, yang pada gilirannya dapat mengganggu pertumbuhan. Selain itu, terdapat beberapa hari dimana penyiraman tidak dilakukan, seperti pada hari ke-4 dan hari ke-6. Hal ini dapat mempengaruhi kondisi tanaman, mengingat tanaman membutuhkan asupan air untuk tumbuh dengan baik.

Analisis ini menunjukkan bahwa penggunaan sistem otomatis dengan pompa lebih efisien 1 liter per penyiraman dalam mengelola penggunaan air dibandingkan dengan metode manual. Sistem otomatis tidak hanya mengurangi pemborosan air tetapi juga membantu menjaga kondisi tanah tetap optimal untuk pertumbuhan tanaman anggur. Sebagai tindak lanjut, penelitian ini merekomendasikan optimasi sistem otomatis melalui pengembangan algoritma yang lebih canggih untuk menyesuaikan penggunaan air berdasarkan kondisi cuaca dan kelembaban tanah yang terukur.

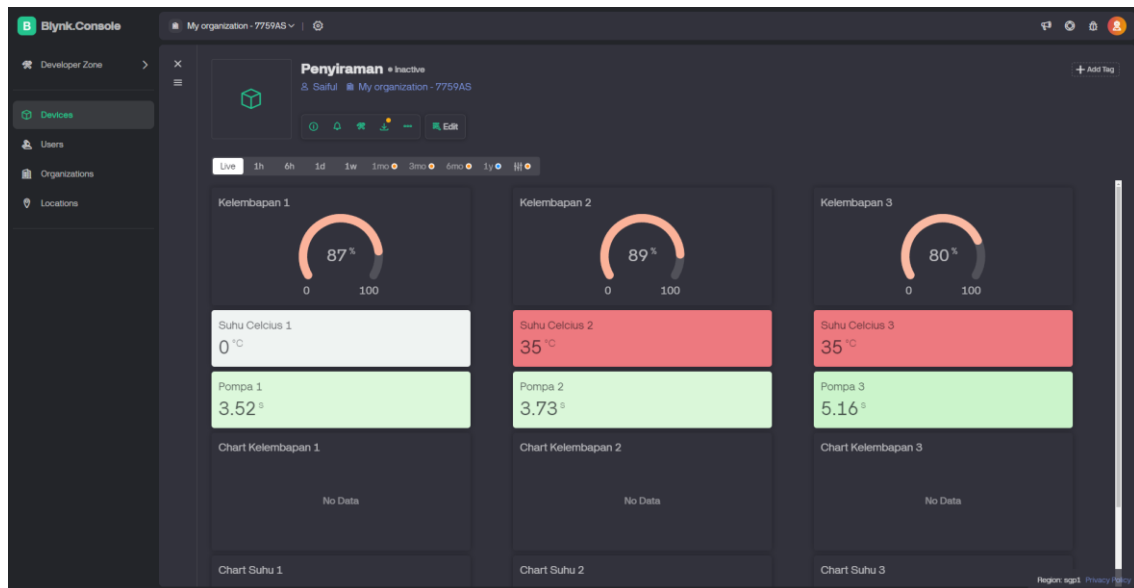
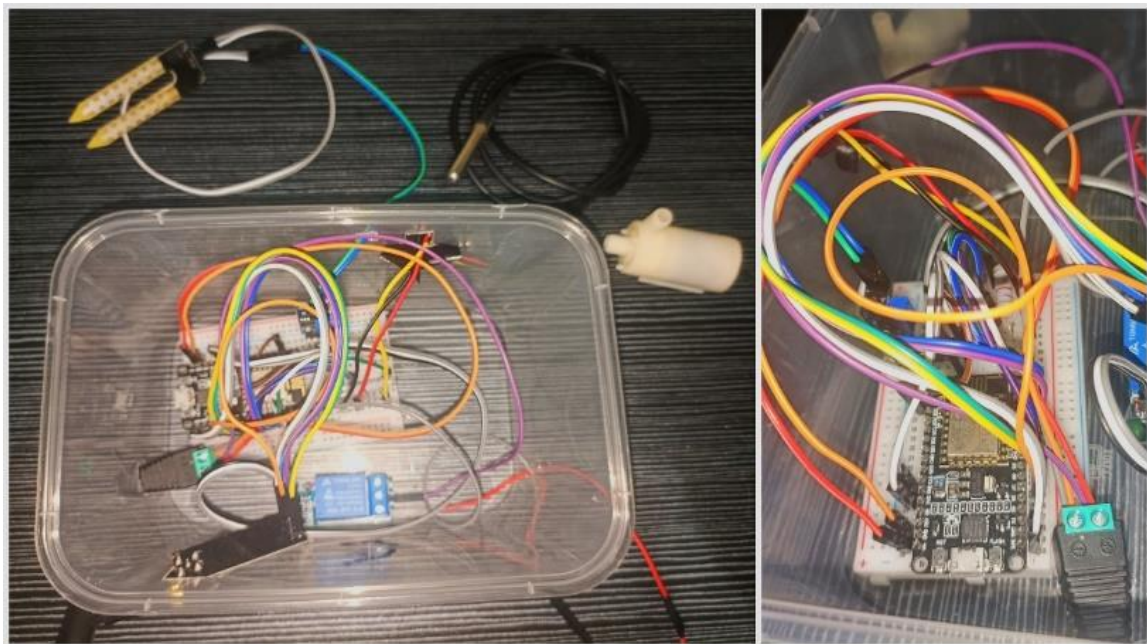
5. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan dan pengendalian kelembaban tanah berbasis IoT untuk tanaman anggur menggunakan *Wireless Sensor Network* (WSN). Dengan memanfaatkan data kelembaban dan suhu tanah yang diperoleh dari *Sensor Node*, sistem ini mampu mengontrol penyiraman secara otomatis menggunakan logika fuzzy. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini dapat memantau dan mengendalikan kondisi tanah secara langsung, memastikan tanaman anggur menerima jumlah air yang optimal tanpa risiko kelebihan atau kekurangan kelembaban. Efisiensi penggunaan air dalam irigasi juga meningkat, berkontribusi pada pengembangan sistem irigasi yang lebih efisien dan berkelanjutan.

Meskipun demikian, penelitian ini menghadapi beberapa tantangan, seperti keterbatasan data sensor, fluktuasi nilai pengambilan data, dan masalah hardware yang mengganggu pengiriman data. Kendala-kendala ini menunjukkan perlunya perbaikan dalam kalibrasi sensor dan stabilitas koneksi untuk meningkatkan keandalan sistem. Meskipun ada tantangan, sistem ini menunjukkan potensi besar dalam meningkatkan praktik budidaya anggur, terutama di lingkungan *greenhouse*. Implementasi WSN dan logika fuzzy terbukti efektif dalam memberikan solusi untuk pengendalian irigasi. Penelitian ini membuka peluang untuk pengembangan lebih lanjut, seperti peningkatan akurasi sensor dan stabilitas koneksi, serta perluasan aplikasi sistem ke jenis tanaman dan kondisi lingkungan lainnya.

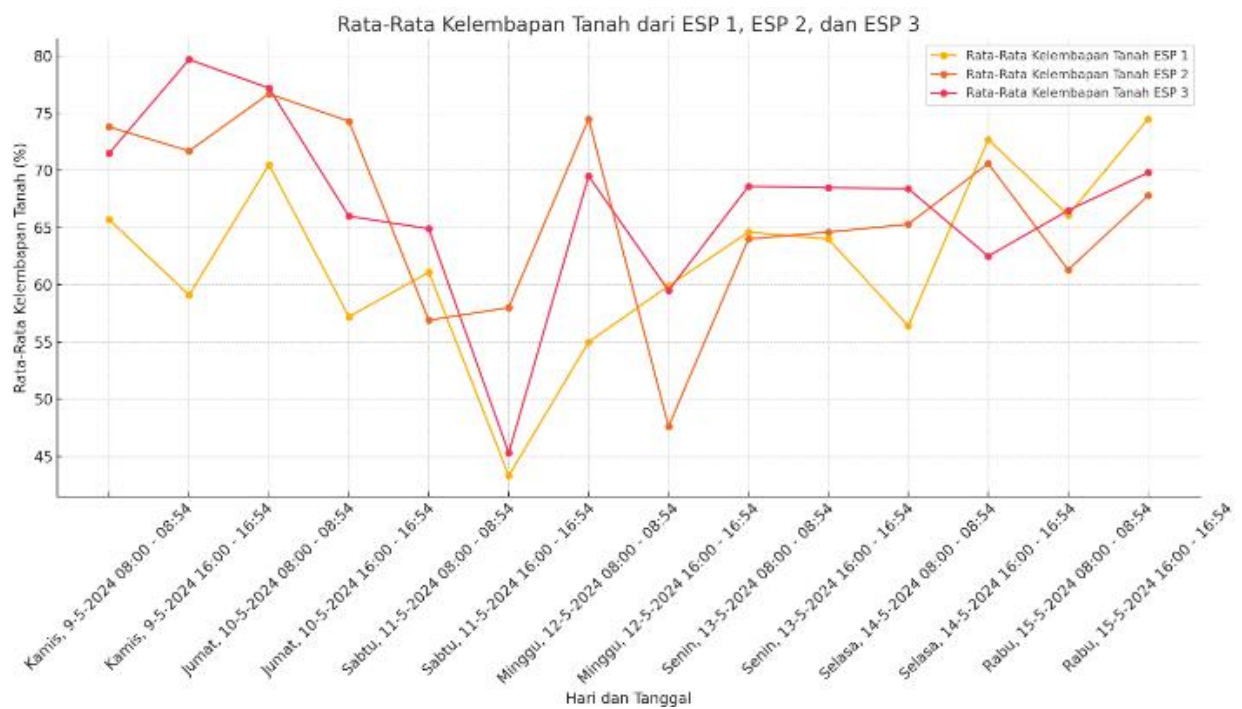
Daftar Pustaka

- [1] Shellie, Krista C., and Bradley A. King. "Application of a daily crop water stress index to deficit irrigate malbec grapevine under semi-arid conditions." *Agriculture* 10.11 (2020): 492.
- [2] Siswanto, Yudi, Ari Setiawan, and Hanifah Mutia Zaida Ningrum Amrul. "Teknik Tanaman Buah Dalam Pot Untuk Budidaya Tanaman Anggur (*Vitis vinifera* L.)." Penerbit Tahta Media (2023).
- [3] T Babuška, R., and H. B. Verbruggen. "Fuzzy set methods for local modelling and identification." *Multiple Model Approaches to Nonlinear Modelling and Control*. CRC Press, 2020. 75-100.
- [4] R. Bangun, I. Marzuki, and I. Wicaksono, "Rancang Bangun Sistem Pemantauan dan Kontrol Otomatis Pada Greenhouse Berbasis Wireless Sensor Network (WSN)," *JTII*, vol. 4, no. 2, 2019.
- [5] M. Mahbub, "A smart farming concept based on smart embedded electronics, internet of things and wireless sensor network," *Internet of Things (Netherlands)*, vol. 9, Mar. 2020.
- [6] Garofalo, Simone Pietro, et al. "Agronomic responses of grapevines to an irrigation scheduling approach based on continuous monitoring of soil water content." *Agronomy* 13.11 (2023): 2821.
- [7] I. Ruslianto, "Sistem Pemantauan Suhu, Kelembapan Udara dan pH Air pada Rumah Anggur berbasis Internet of Things Menggunakan Aplikasi Website," *Jurnal Sistem Komputer dan Informatika (JSON)* 5.1 (2023): 56-68.
- [8] N. Rachma, Nur, and Rais Mulki Salam. "Aplikasi Penyiram Tanaman Otomatis Dan Kelembapan Tanah Berbasis Iot Menggunakan Node Mcu V3." *Jurnal Sibernetika* 7.2 (2022): 23-33.
- [9] D. R. Purba, M. Nazwa Juwita, and G. A. Hutagalung, "Alat Monitoring Kelembapan Tanah Dan Penyiram Otomatis Menggunakan Sensor Soil Moisture Pada Tanaman Okra Di Perkebunan Ikahi Raya." *Prosiding Konferensi Nasional Social & Engineering Polmed (KONSEP)* 3.1 (2022): 1330-1336.
- [10] D. Ariyanto, Dian, and Medilla Kusriyanto. "Alat Penyiraman Sawi Hijau Secara Otomatis Menggunakan Sensor Kelembapan Tanah Dan Sensor Dht11 Berbasis Arduino." *PROSIDING SNITT POLTEKBA* 4 (2020): 157-162.
- [11] R. Andreano, B. Siswo Nugroho, H. Prodi Fisika Jurusan Fisika, F. Universitas Tanjungpura, and J. H. Hadari Nawawi, "Rancang Bangun Pengendalian Kelembapan Tanah dan Suhu Lingkungan Tanaman Berbasis NodeMCU ESP8266," *PRISMA FISIKA*, vol. 10, no. 1, pp. 40–47, 2022.
- [12] N. F. Putri, R. Hidayati, and I. Nirmala, "Rancang Bangun Sistem Pemantauan dan Kendali Budidaya Anggur Dengan Penerapan Internet Of Things (IoT) Berbasis Android," *Jurnal Riset Komputer*, vol. 10, no. 3, pp. 2407–389, 2023, doi: 10.30865/jurikom.v10i3.6235.
- [13] Lazcano, Cristina, Charlotte Decock, and Stewart G. Wilson. "Defining and managing for healthy vineyard soils, intersections with the concept of terroir." *Frontiers in Environmental Science* 8 (2020): 68.

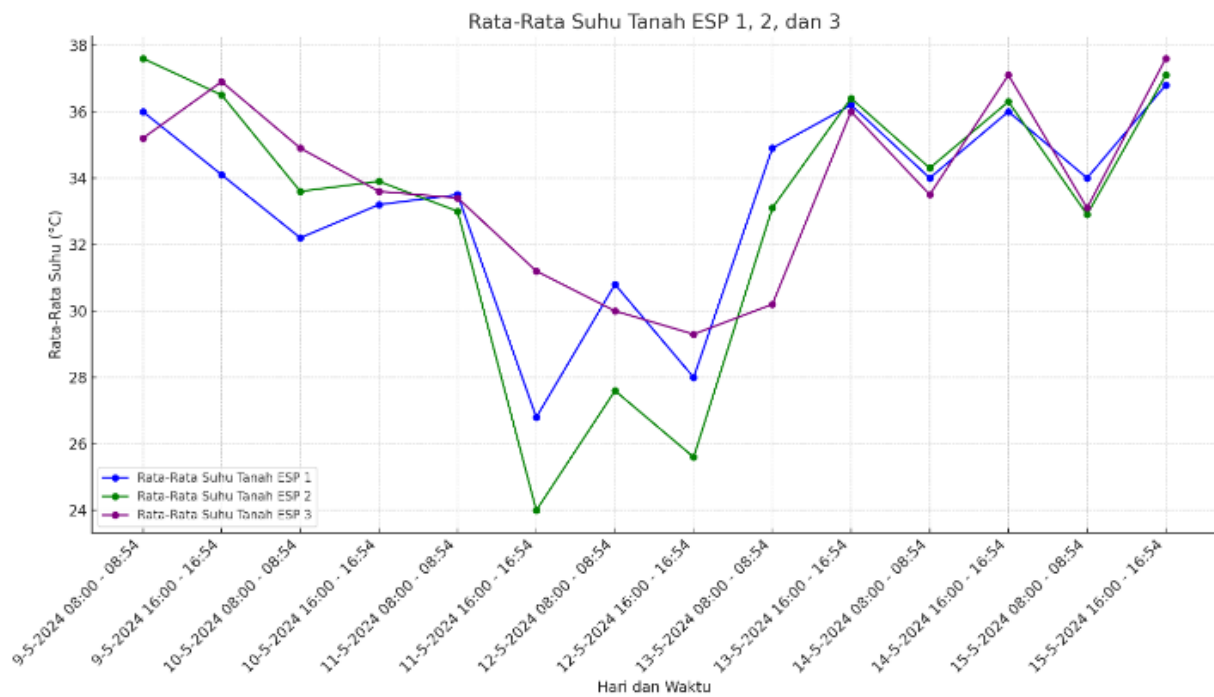
Lampiran**Gambar 1 Tampilan Blynk****Gambar 2 Implementasi Hardware**



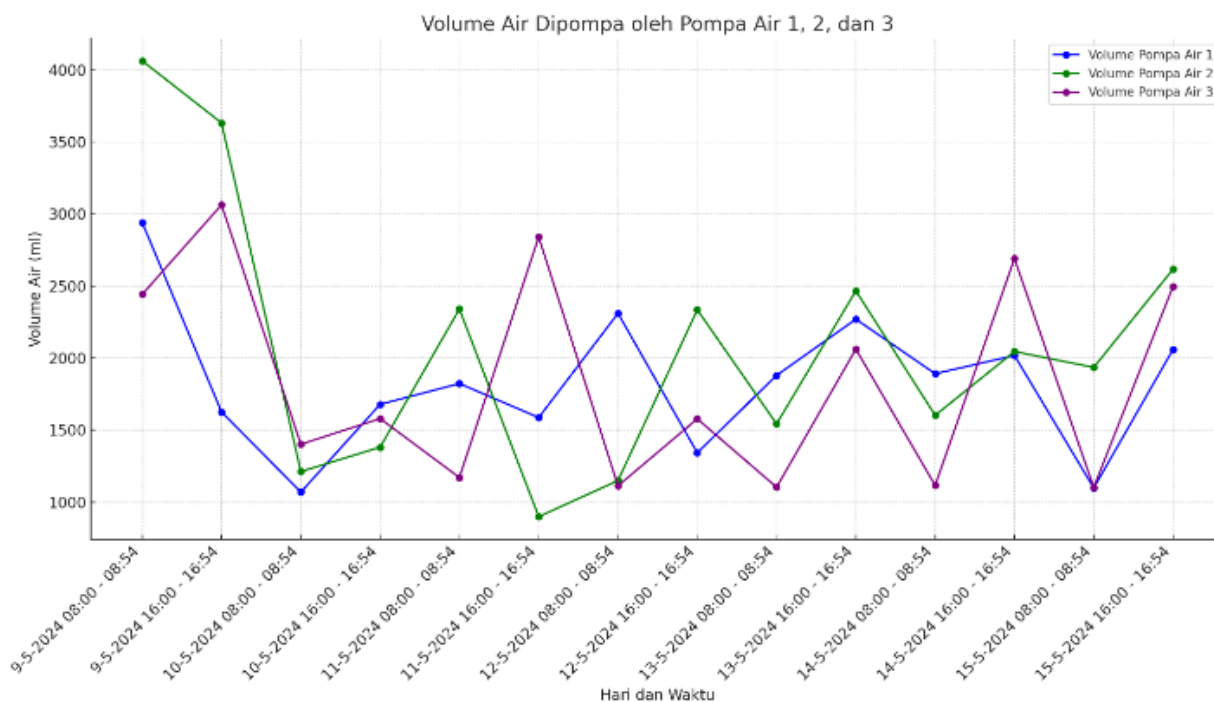
Gambar 3 Implementasi Hardware di Lokasi



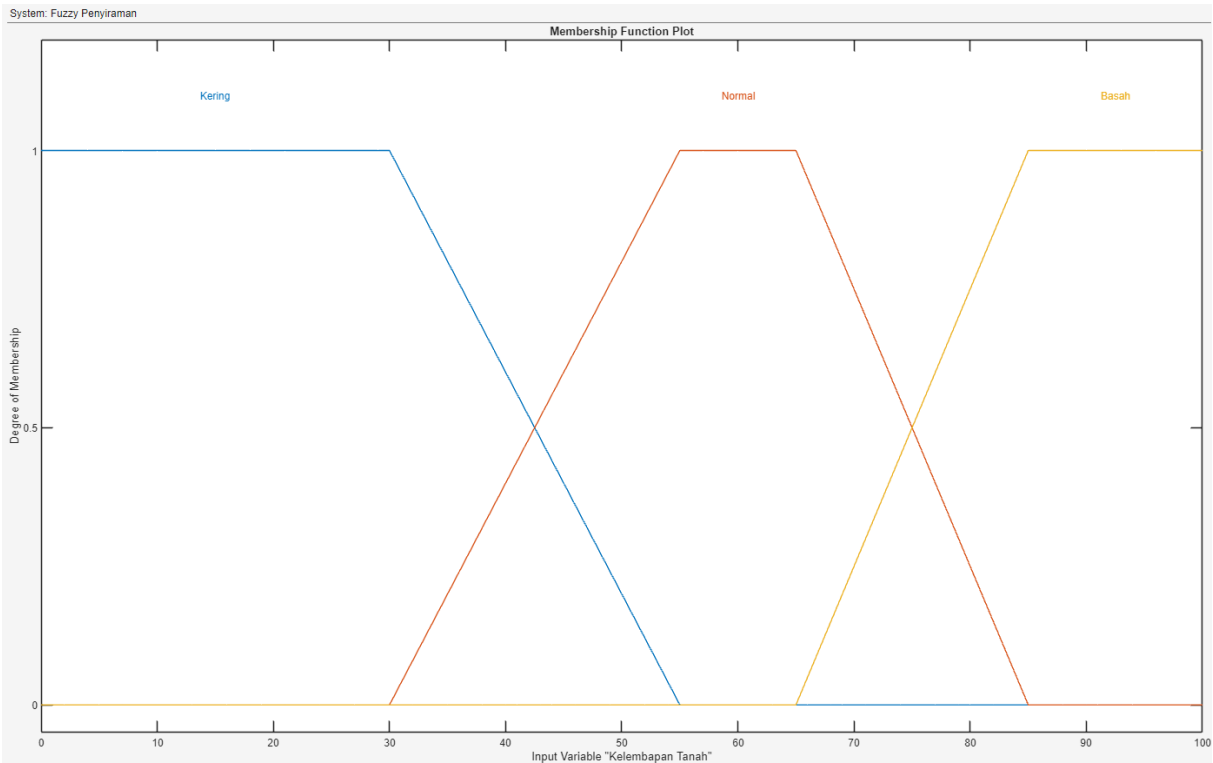
Gambar 4 Diagram Perbandingan Data Kelembapan Tanah



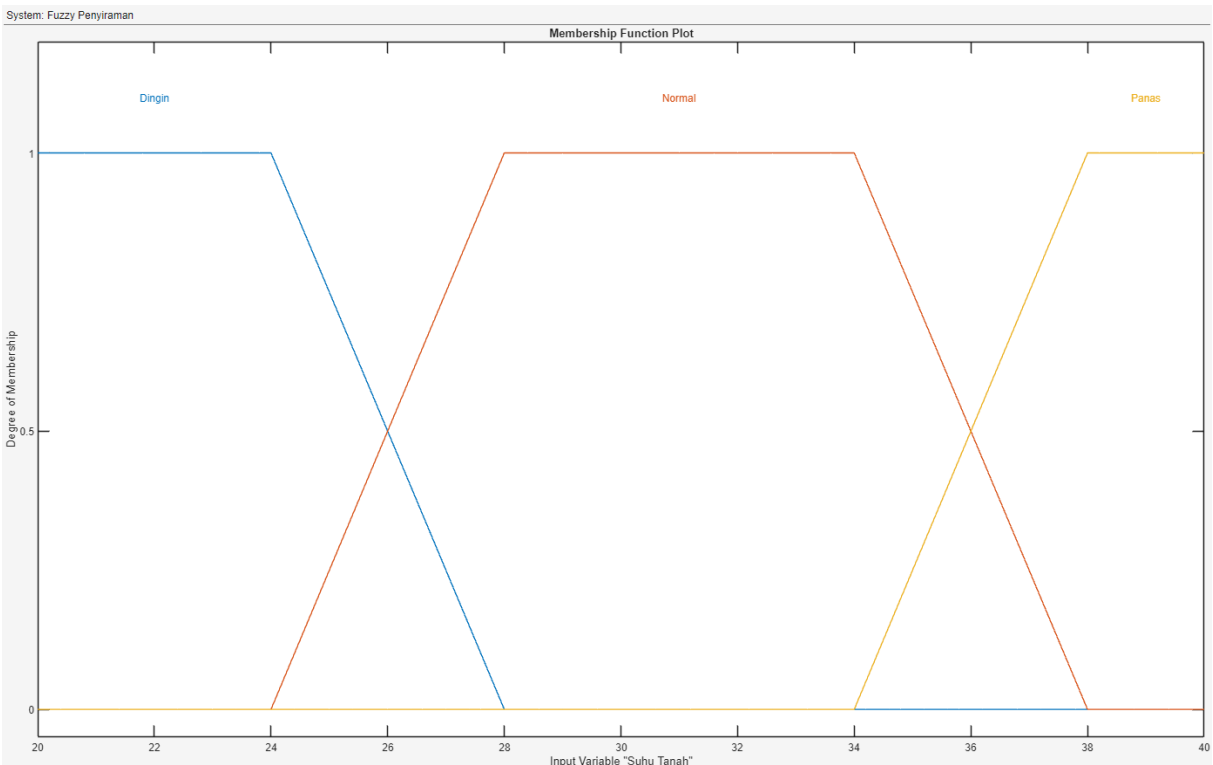
Gambar 5 Diagram Perbandingan Data Suhu Tanah



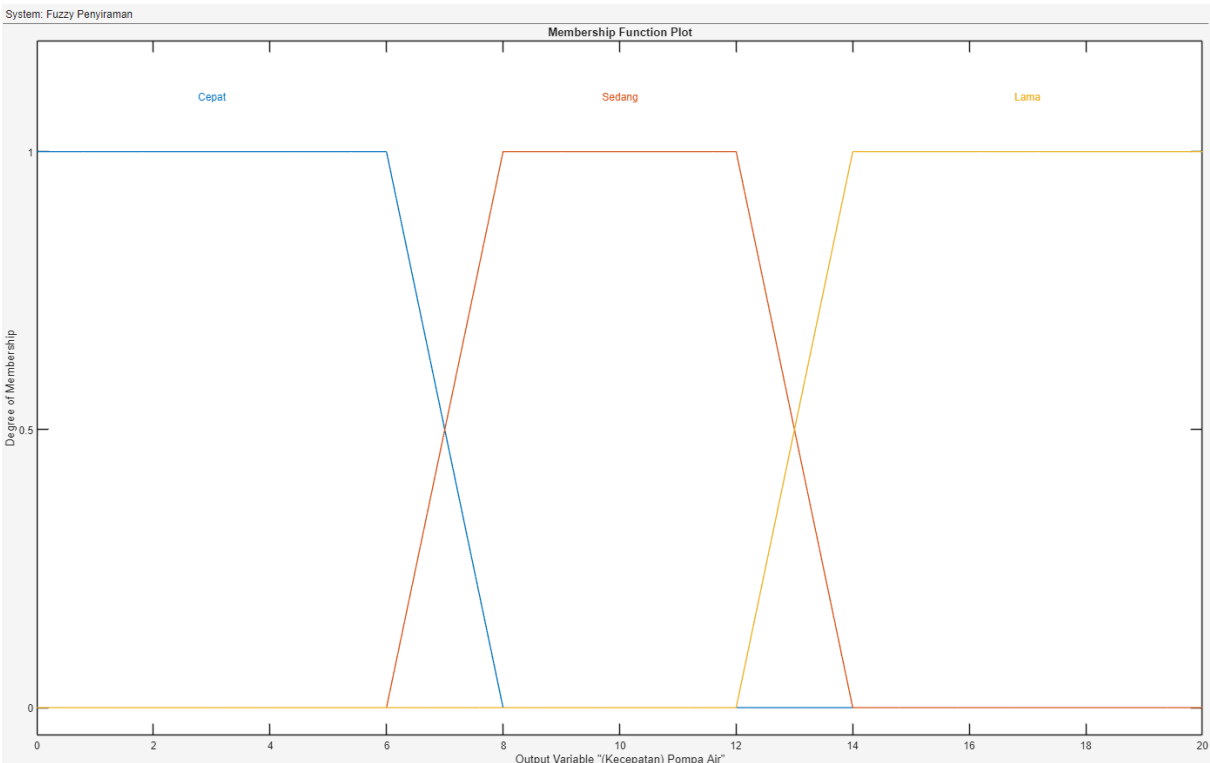
Gambar 6 Diagram Perbandingan Data Volume Air Penyiraman



Gambar 7 Input Fungsi Keanggotaan Fuzzy Pada Data Kelembapan Tanah



Gambar 8 Input Fungsi Keanggotaan Fuzzy Pada Data Suhu Tanah



Gambar 9 Output Fungsi Keanggotaan Fuzzy Pada Hasil Data Durasi Pompa

Lampiran Tabel

Tabel 1 Analisis Delay Tiap ESP

No	Jarak	Rata-Rata Delay (miliseconds)		
		ESP 1	ESP 2	ESP 3
1	5 meter	1ms	1ms	1ms
2	20 meter	2ms	3ms	2ms
3	50 meter	6ms	4ms	8ms

Tabel 2 Data Awal dan Akhir Sensor Kelembapan Tanah

Hari dan Tanggal	Waktu	Data Sensor Kelembapan tanah Awal dan Akhir penyiraman					
		ESP 1		ESP 2		ESP 3	
		Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir
Kamis, 9-5-2024	08:00 - 08:54	55%	70%	68%	80%	68%	75%
	16:00 - 16:54	55%	73%	67%	79%	74%	81%
Jumat, 10-5-2024	08:00 - 08:54	70%	72%	58%	81%	65%	84%
	16:00 - 16:54	47%	66%	69%	79%	64%	82%
Sabtu, 11-5-2024	08:00 - 08:54	18%	78%	19%	77%	53%	72%
	16:00 - 16:54	30%	62%	83%	82%	19%	77%
Minggu, 12-5-2024	08:00 - 08:54	46%	85%	74%	79%	67%	69%
	16:00 - 16:54	37%	87%	47%	89%	52%	80%
Senin, 13-5-2024	08:00 - 08:54	20%	79%	56%	73%	62%	78%
	16:00 - 16:54	34%	74%	47%	76%	52%	79%
Selasa, 14-5-2024	08:00 - 08:54	13%	76%	37%	77%	57%	79%
	16:00 - 16:54	68%	80%	53%	81%	13%	81%
Rabu, 15-5-2024	08:00 - 08:54	54%	74%	20%	79%	58%	73%
	16:00 - 16:54	71%	81%	42%	80%	60%	82%

Tabel 3 Data Awal dan Akhir Sensor Suhu Tanah

Hari dan Tanggal	Waktu	Data Sensor Suhu tanah Awal dan Akhir penyiraman					
		ESP 1		ESP 2		ESP 3	
		Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir
Kamis, 9-5-2024	08:00 - 08:54	36°C	36°C	38°C	37°C	36°C	34°C
	16:00 - 16:54	36°C	33°C	38°C	34°C	38°C	36°C
Jumat, 10-5-2024	08:00 - 08:54	33°C	33°C	34°C	34°C	33°C	36°C
	16:00 - 16:54	34°C	32°C	35°C	33°C	34°C	33°C
Sabtu, 11-5-2024	08:00 - 08:54	34°C	32°C	33°C	33°C	35°C	32°C
	16:00 - 16:54	35°C	33°C	35°C	34°C	35°C	34°C
Minggu, 12-5-2024	08:00 - 08:54	31 °C	35 °C	30 °C	36 °C	30 °C	30 °C
	16:00 - 16:54	35 °C	35 °C	37 °C	35 °C	37 °C	35 °C
Senin, 13-5-2024	08:00 - 08:54	36°C	33°C	34°C	32°C	34°C	33°C
	16:00 - 16:54	37°C	35°C	38°C	35°C	36°C	36°C
Selasa, 14-5-2024	08:00 - 08:54	35°C	33°C	35°C	33°C	33°C	34°C
	16:00 - 16:54	37°C	35°C	36°C	37°C	38°C	36°C
Rabu, 15-5-2024	08:00 - 08:54	34°C	34°C	34°C	33°C	34°C	32°C
	16:00 - 16:54	37°C	36°C	38°C	36°C	38°C	37°C

Tabel 4 Data Pengiriman dari Node Sensor

Pengambilan data	Status Pengiriman Data		
	ESP 1	ESP 2	ESP 3
ke -1	berhasil	berhasil	berhasil
ke -2	berhasil	berhasil	berhasil
ke -3	berhasil	berhasil	berhasil
ke -4	berhasil	berhasil	berhasil
ke -5	berhasil	berhasil	berhasil
...	...	...	...
ke -58	berhasil	Tidak berhasil	berhasil
ke -59	Tidak berhasil	Tidak berhasil	berhasil
ke -60	Tidak berhasil	Tidak berhasil	Tidak berhasil
...	...	...	...
ke -79	Tidak berhasil	Tidak berhasil	Tidak berhasil
ke -80	Tidak berhasil	Tidak berhasil	Tidak berhasil
...	...	...	...

Tabel 5 Rulebase Logika Fuzzy

Rule	Keadaan
Rule-1	Jika Kelembapan Tanah is Kering dan Suhu Tanah is Dingin then (Kecepatan) Pompa Air is Lama.
Rule-2	Jika Kelembapan Tanah is Normal dan Suhu Tanah is Dingin then (Kecepatan) Pompa Air is Cepat.
Rule-3	Jika Kelembapan Tanah is Basah dan Suhu Tanah is Dingin then (Kecepatan) Pompa Air is Cepat.
Rule-4	Jika Kelembapan Tanah is Normal dan Suhu Tanah is Normal then (Kecepatan) Pompa Air is Cepat.

Rule-5	Jika Kelembapan Tanah is Basah dan Suhu Tanah is Normal then (Kecepatan) Pompa Air is Cepat.
Rule-6	Jika Kelembapan Tanah is Normal dan Suhu Tanah is Panas then (Kecepatan) Pompa Air is Sedang.
Rule-7	Jika Kelembapan Tanah is Basah dan Suhu Tanah is Panas then (Kecepatan) Pompa Air is Cepat.
Rule-8	Jika Kelembapan Tanah is Kering dan Suhu Tanah is Normal then (Kecepatan) Pompa Air is Lama.
Rule-9	Jika Kelembapan Tanah is Kering dan Suhu Tanah is Panas then (Kecepatan) Pompa Air is Lama.

Tabel 6 Data Sensor

Hari dan Tanggal	Waktu	Data Sensor ESP 1		Data Sensor ESP 2		Data Sensor ESP 3	
		Kelembapan Tanah	Suhu Tanah	Kelembapan Tanah	Suhu Tanah	Kelembapan Tanah	Suhu Tanah
Kamis, 9-5-2024	8:00	55%	36°C	68%	38°C	68%	36°C
	8:06	55%	36°C	69%	38°C	69%	36°C
	8:12	55%	36°C	70%	38°C	69%	36°C
	8:18	67%	36°C	71%	38°C	70%	35°C
	8:24	71%	36°C	74%	38°C	71%	35°C
	8:30	71%	36°C	75%	38°C	72%	35°C
	8:36	72%	36°C	76%	37°C	73%	35°C
	8:42	71%	36°C	77%	37°C	74%	35°C
	8:48	70%	36°C	78%	37°C	74%	35°C
	8:54	70%	36°C	80%	37°C	75%	34°C
	16:00	55%	36°C	67%	38°C	74%	38°C
	16:06	55%	36°C	67%	38°C	78%	38°C
	16:12	55%	35°C	68%	38°C	79%	37°C
	16:18	67%	35°C	68%	37°C	80%	37°C
	16:24	71%	34°C	70%	37°C	80%	37°C
	16:30	71%	33°C	70%	36°C	81%	37°C
	16:36	70%	33°C	74%	36°C	81%	37°C
	16:42	72%	33°C	77%	36°C	82%	36°C
	16:48	72%	33°C	77%	35°C	81%	36°C
	16:54	73%	33°C	79%	34°C	81%	36°C
Jumat, 10-5-2024	8:00	73%	33 °C	58%	34 °C	65%	33 °C
	8:06	80%	32 °C	74%	34 °C	63%	33 °C
	8:12	68%	32 °C	76%	34 °C	75%	34 °C
	8:18	70%	32 °C	78%	33 °C	81%	35 °C
	8:24	70%	32 °C	79%	33 °C	82%	35 °C
	8:30	70%	32 °C	80%	33 °C	83%	35 °C
	8:36	69%	32 °C	80%	33 °C	82%	36 °C
	8:42	69%	32 °C	80%	34 °C	84%	36 °C
	8:48	68%	32 °C	81%	34 °C	73%	36 °C
	8:54	68%	33 °C	81%	34 °C	84%	36 °C
	16:00	47%	34 °C	69%	35 °C	64%	34 °C
	16:06	44%	34 °C	68%	35 °C	61%	34 °C
	16:12	44%	34 °C	67%	35 °C	61%	34 °C
	16:18	43%	34 °C	69%	34 °C	19%	34 °C

	16:24	64%	33 °C	77%	34 °C	77%	34 °C
	16:30	66%	33 °C	78%	34 °C	75%	34 °C
	16:36	66%	33 °C	79%	33 °C	61%	33 °C
	16:42	66%	33 °C	78%	33 °C	79%	33 °C
	16:48	66%	32 °C	79%	33 °C	81%	33 °C
	16:54	66%	32 °C	79%	33 °C	82%	33 °C
Sabtu, 11-5-2024	8:00	18%	34°C	19%	33°C	53%	35°C
	8:06	22%	34°C	27%	33°C	59%	34°C
	8:12	66%	34°C	60%	33°C	61%	34°C
	8:18	66%	34°C	30%	33°C	61%	34°C
	8:24	66%	34°C	67%	33°C	63%	34°C
	8:30	69%	34°C	70%	33°C	66%	33°C
	8:36	72%	33°C	72%	33°C	70%	33°C
	8:42	75%	33°C	72%	33°C	72%	33°C
	8:48	79%	33°C	75%	33°C	72%	32°C
	8:54	78%	32°C	77%	33°C	72%	32°C
	16:00	30%	35 °C	83%	35 °C	19%	35 °C
	16:06	19%	34 °C	84%	35 °C	19%	35 °C
	16:12	68%	34 °C	82%	34 °C	19%	35 °C
	16:18	67%	33 °C	84%	34 °C	19%	35 °C
	16:24	63%	33 °C	83%	34 °C	75%	35 °C
	16:30	62%	33 °C	82%	34 °C	75%	35 °C
	16:36	62%	33 °C	82%	34 °C	75%	34 °C
	16:42	62%	33 °C	%	0°C	75%	34 °C
	16:48	%	0°C	%	0°C	77%	34 °C
	16:54	%	0°C	%	0°C	%	0°C
Minggu, 12-5-2024	8:00	46%	31 °C	74%	30 °C	67%	30 °C
	8:06	34%	31 °C	74%	30 °C	65%	30 °C
	8:12	77%	29 °C	73%	30 °C	66%	30 °C
	8:18	62%	29 °C	73%	30 °C	75%	30 °C
	8:24	60%	29 °C	72%	30 °C	74%	30 °C
	8:30	19%	29 °C	71%	30 °C	72%	30 °C
	8:36	19%	30 °C	79%	30 °C	72%	30 °C
	8:42	71%	30 °C	71%	30 °C	64%	30 °C
	8:48	77%	35 °C	79%	36 °C	71%	30 °C
	8:54	85%	35 °C	79%	0 °C	69%	30 °C
	16:00	37%	35 °C	47%	37 °C	52%	37 °C
	16:06	81%	35 °C	42%	37 °C	80%	37 °C
	16:12	79%	35 °C	41%	37 °C	76%	37 °C
	16:18	76%	35 °C	38%	37 °C	75%	37 °C
	16:24	77%	35 °C	38%	37 °C	74%	37 °C
	16:30	77%	35 °C	91%	36 °C	81%	37 °C
	16:36	85%	35 °C	90%	0°C	77%	36 °C
	16:42	87%	35 °C	89%	35 °C	80%	35 °C

	16:48	%	0°C	%	0°C	%	*C
	16:54	%	0°C	%	0°C	%	*C
Senin,13-5-2024	8:00	20%	36°C	56%	34°C	62%	34°C
	8:06	60%	36°C	12%	34°C	63%	34°C
	8:12	62%	36°C	68%	34°C	63%	34°C
	8:18	63%	35°C	70%	34°C	65%	34°C
	8:24	63%	35°C	70%	33°C	68%	34°C
	8:30	70%	35°C	72%	33°C	68%	0°C
	8:36	75%	35°C	72%	33°C	73%	33°C
	8:42	77%	35°C	74%	32°C	74%	33°C
	8:48	77%	33°C	73%	32°C	72%	33°C
	8:54	79%	33°C	73%	32°C	78%	33°C
	16:00	34%	37°C	47%	38°C	52%	36°C
	16:06	52%	37°C	48%	38°C	57%	36°C
	16:12	65%	37°C	60%	38°C	66%	36°C
	16:18	65%	36°C	67%	36°C	66%	36°C
	16:24	68%	36°C	64%	36°C	68%	36°C
	16:30	68%	36°C	65%	36°C	72%	36°C
	16:36	70%	36°C	71%	36°C	72%	36°C
	16:42	71%	36°C	74%	36°C	76%	36°C
	16:48	73%	36°C	74%	35°C	77%	36°C
	16:54	74%	35°C	76%	35°C	79%	36°C
Selasa,14-5-2024	8:00	13%	35°C	37%	35°C	57%	33°C
	8:06	23%	35°C	62%	35°C	55%	33°C
	8:12	50%	34°C	63%	35°C	55%	33°C
	8:18	58%	34°C	65%	35°C	69%	33°C
	8:24	64%	34°C	68%	35°C	72%	33°C
	8:30	66%	34°C	68%	34°C	73%	34°C
	8:36	70%	34°C	70%	34°C	74%	34°C
	8:42	72%	34°C	70%	34°C	75%	34°C
	8:48	72%	33°C	73%	33°C	75%	34°C
	8:54	76%	33°C	77%	33°C	79%	34°C
	16:00	68%	37°C	53%	36°C	13%	38°C
	16:06	68%	37°C	62%	36°C	13%	38°C
	16:12	69%	37°C	68%	36°C	71%	37°C
	16:18	70%	37°C	70%	36°C	71%	37°C
	16:24	70%	36°C	72%	36°C	74%	37°C
	16:30	74%	36°C	72%	36°C	74%	37°C
	16:36	74%	35°C	75%	36°C	72%	37°C
	16:42	77%	35°C	75%	37°C	77%	37°C
	16:48	77%	35°C	78%	37°C	79%	37°C
	16:54	80%	35°C	81%	37°C	81%	36°C
Rabu,15-5-2024	8:00	54%	34°C	20%	34°C	58%	34°C
	8:06	54%	34°C	27%	33°C	60%	34°C

	8:12	56%	34°C	63%	33°C	60%	34°C
	8:18	68%	34°C	65%	33°C	63%	34°C
	8:24	68%	34°C	67%	33°C	66%	33°C
	8:30	70%	34°C	70%	33°C	66%	33°C
	8:36	70%	34°C	73%	33°C	73%	33°C
	8:42	73%	34°C	73%	32°C	73%	32°C
	8:48	74%	34°C	76%	32°C	73%	32°C
	8:54	74%	34°C	79%	33°C	73%	32°C
	16:00	71%	37°C	42%	38°C	60%	38°C
	16:06	70%	37°C	45%	38°C	63%	38°C
	16:12	73%	37°C	68%	38°C	63%	38°C
	16:18	73%	37°C	71%	38°C	65%	38°C
	16:24	73%	37°C	72%	37°C	66%	38°C
	16:30	75%	37°C	72%	37°C	72%	38°C
	16:36	75%	37°C	75%	37°C	74%	37°C
	16:42	77%	37°C	75%	36°C	74%	37°C
	16:48	77%	36°C	78%	36°C	79%	37°C
	16:54	81%	36°C	80%	36°C	82%	37°C

Tabel 7 Data Volume Pompa Air

Hari dan Tanggal	Waktu	Pompa ESP 1		Pompa ESP 2		Pompa ESP 3	
		Durasi Pompa	Volume Air	Durasi Pompa	Volume Air	Durasi Pompa	Volume Air
Kamis, 9-5-2024	8:00	10 detik	294.00 ml	15.5 detik	483.60 ml	10 detik	306.0 ml
	8:06	10 detik	294.00 ml	15.2 detik	474.24 ml	10 detik	306.0 ml
	8:12	10 detik	294.00 ml	15.2 detik	474.24 ml	10 detik	306.0 ml
	8:18	10 detik	294.00 ml	14.9 detik	464.88 ml	7.3 detik	223.38 ml
	8:24	10 detik	294.00 ml	13.6 detik	424.32 ml	7.4 detik	226.44 ml
	8:30	10 detik	294.00 ml	13.3 detik	414.96 ml	7.6 detik	232.56 ml
	8:36	10 detik	294.00 ml	11.1 detik	346.32 ml	7.8 detik	238.68 ml
	8:42	10 detik	294.00 ml	10.8 detik	336.96 ml	8 detik	244.8 ml
	8:48	10 detik	294.00 ml	10.6 detik	330.72 ml	8 detik	244.8 ml
	8:54	10 detik	294.00 ml	10 detik	312.00 ml	3.7 detik	113.22 ml
	16:00	10 detik	294.00 ml	15.9 detik	496.08 ml	13.6 detik	416.16 ml
	16:06	10 detik	294.00 ml	15.9 detik	496.08 ml	12.3 detik	376.38 ml
	16:12	6.8 detik	199.92 ml	15.5 detik	483.60 ml	10.3 detik	315.18 ml
	16:18	7 detik	205.80 ml	15.5 detik	483.60 ml	10 detik	306.0 ml
	16:24	3.6 detik	105.84 ml	12.7 detik	396.24 ml	10 detik	306.0 ml
	16:30	3.6 detik	105.84 ml	10 detik	312.00 ml	9.7 detik	296.82 ml
	16:36	3.5 detik	102.90 ml	10 detik	312.00 ml	9.7 detik	296.82 ml
	16:42	3.6 detik	105.84 ml	9.5 detik	296.40 ml	7.9 detik	241.74 ml
	16:48	3.6 detik	105.84 ml	7.8 detik	243.36 ml	8.3 detik	253.98 ml
	16:54	3.6 detik	105.84 ml	3.6 detik	112.32 ml	8.3 detik	253.98 ml
Jumat, 10-5-2024	8:00	3.72 Detik	109.37 ml	4.78 Detik	149.14 ml	3.53 Detik	108.02 ml
	8:06	3.63 Detik	106.72 ml	4.07 Detik	126.98 ml	3.52 Detik	107.71 ml
	8:12	3.61 Detik	106.13 ml	3.88 Detik	121.06 ml	5.07 Detik	155.14 ml

	8:18	3.66 Detik	107.60 ml	3.68 Detik	114.82 ml	4.93 Detik	150.86 ml
	8:24	3.65 Detik	107.31 ml	3.66 Detik	114.19 ml	4.64 Detik	141.98 ml
	8:30	3.64 Detik	107.02 ml	3.64 Detik	113.57 ml	4.37 Detik	133.72 ml
	8:36	3.63 Detik	106.72 ml	3.62 Detik	112.94 ml	4.84 Detik	148.10 ml
	8:42	3.62 Detik	106.43 ml	3.78 Detik	117.94 ml	4.01 Detik	122.71 ml
	8:48	3.60 Detik	105.84 ml	3.87 Detik	120.74 ml	7.12 Detik	217.87 ml
	8:54	3.61 Detik	106.13 ml	3.86 Detik	120.43 ml	3.76 Detik	115.06 ml
	16:00	7.87 Detik	231.38 ml	3.55 Detik	110.76 ml	4.38 Detik	134.03 ml
	16:06	9.21 Detik	270.77 ml	5.38 Detik	167.86 ml	4.28 Detik	130.97 ml
	16:12	8.97 Detik	263.72 ml	5.38 Detik	167.86 ml	3.98 Detik	121.79 ml
	16:18	9.74 Detik	286.36 ml	5.38 Detik	167.86 ml	16.46 Detik	503.68 ml
	16:24	3.52 Detik	103.49 ml	5.08 Detik	158.50 ml	4.25 Detik	130.05 ml
	16:30	3.55 Detik	104.37 ml	4.57 Detik	142.58 ml	3.91 Detik	119.65 ml
	16:36	3.56 Detik	104.66 ml	3.96 Detik	123.55 ml	3.52 Detik	107.71 ml
	16:42	3.56 Detik	104.66 ml	3.66 Detik	114.19 ml	3.65 Detik	111.69 ml
	16:48	3.56 Detik	104.66 ml	3.66 Detik	114.19 ml	3.60 Detik	110.16 ml
	16:54	3.55 Detik	104.37 ml	3.65 Detik	113.88 ml	3.59 Detik	109.85 ml
Sabtu, 11-5-2024	8:00	16.48 detik	484.51 ml	16.48 detik	514.18 ml	5.95 detik	182.07 ml
	8:06	16.48 detik	484.51 ml	16.48 detik	514.18 ml	3.52 detik	107.71 ml
	8:12	3.55 detik	104.37 ml	3.52 detik	109.82 ml	3.52 detik	107.71 ml
	8:18	3.55 detik	104.37 ml	16.48 detik	514.18 ml	3.52 detik	107.71 ml
	8:24	3.55 detik	104.37 ml	3.57 detik	111.38 ml	3.52 detik	107.71 ml
	8:30	3.61 detik	106.13 ml	3.64 detik	113.57 ml	3.55 detik	108.63 ml
	8:36	3.68 detik	108.19 ml	3.68 detik	114.82 ml	3.64 detik	111.38 ml
	8:42	3.76 detik	110.54 ml	3.68 detik	114.82 ml	3.68 detik	112.61 ml
	8:48	3.66 detik	107.60 ml	3.76 detik	117.31 ml	3.68 detik	112.61 ml
	8:54	3.68 detik	108.19 ml	3.71 detik	115.75 ml	3.68 detik	112.61 ml
	16:00	16.14 Detik	474.52 ml	4.27 Detik	133.22 ml	16.34 Detik	500.00 ml
	16:06	16.44 Detik	483.34 ml	3.89 Detik	121.37 ml	16.30 Detik	498.78 ml
	16:12	3.74 Detik	109.96 ml	4.39 Detik	136.97 ml	16.31 Detik	499.09 ml
	16:18	3.57 Detik	104.96 ml	3.93 Detik	122.62 ml	16.33 Detik	499.70 ml
	16:24	3.52 Detik	103.49 ml	4.05 Detik	126.36 ml	6.00 Detik	183.60 ml
	16:30	3.52 Detik	103.49 ml	4.26 Detik	132.91 ml	5.99 Detik	183.29 ml
	16:36	3.52 Detik	103.49 ml	4.02 Detik	125.42 ml	5.57 Detik	170.44 ml
	16:42	3.52 Detik	103.49 ml	0 detik	0.00 ml	5.29 Detik	161.87 ml
	16:48	0 detik	0.00 ml	0 detik	0.00 ml	4.69 Detik	143.51 ml
	16:54	0 detik	0.00 ml	0 detik	0.00 ml	0 detik	0.00 ml
Minggu, 12-5-2024	8:00	8.15 Detik	239.61 ml	3.75 Detik	117.00 ml	3.58 Detik	109.55 ml
	8:06	13.90 Detik	408.66 ml	3.74 Detik	116.69 ml	3.53 Detik	108.02 ml
	8:12	3.70 Detik	108.78 ml	3.73 Detik	116.38 ml	3.56 Detik	108.94 ml
	8:18	3.52 Detik	103.49 ml	3.72 Detik	116.06 ml	3.73 Detik	114.14 ml
	8:24	3.52 Detik	103.49 ml	3.70 Detik	115.44 ml	3.75 Detik	114.75 ml
	8:30	16.48 Detik	484.51 ml	3.68 Detik	114.82 ml	3.70 Detik	113.22 ml
	8:36	16.48 Detik	484.51 ml	3.66 Detik	114.19 ml	3.70 Detik	113.22 ml

	8:42	3.68 Detik	108.19 ml	3.68 Detik	114.82 ml	3.52 Detik	107.71 ml
	8:48	5.50 Detik	161.70 ml	3.66 Detik	114.19 ml	3.67 Detik	112.30 ml
	8:54	3.64 Detik	107.02 ml	3.52 Detik	109.82 ml	3.63 Detik	111.08 ml
	16:00	11.58 Detik	340.45 ml	11.81 Detik	368.47 ml	10.12 Detik	309.67 ml
	16:06	4.77 Detik	140.24 ml	13.05 Detik	407.16 ml	5.16 Detik	157.90 ml
	16:12	5.32 Detik	156.41 ml	12.50 Detik	390.00 ml	6.39 Detik	195.53 ml
	16:18	5.62 Detik	165.23 ml	13.17 Detik	410.90 ml	6.54 Detik	200.12 ml
	16:24	5.50 Detik	161.70 ml	13.36 Detik	416.83 ml	7.06 Detik	216.04 ml
	16:30	5.56 Detik	163.46 ml	3.69 Detik	115.13 ml	4.63 Detik	141.68 ml
	16:36	3.64 Detik	107.02 ml	3.52 Detik	109.82 ml	6.14 Detik	187.88 ml
	16:42	3.67 Detik	107.90 ml	3.73 Detik	116.38 ml	5.52 Detik	168.91 ml
	16:48	0 detik	0.00 ml	0 detik	0.00 ml	0 detik	0.00 ml
	16:54	0 detik	0.00 ml	0 detik	0.00 ml	0 detik	0.00 ml
Senin,13-5-2024	8:00	16.24 detik	477.46 ml	3.59 detik	112.01 ml	3.52 detik	107.71 ml
	8:06	6.77 detik	199.04 ml	16.48 detik	514.18 ml	3.52 detik	107.71 ml
	8:12	6.77 detik	199.04 ml	3.59 detik	112.01 ml	3.52 detik	107.71 ml
	8:18	5.18 detik	152.29 ml	3.64 detik	113.57 ml	3.52 detik	107.71 ml
	8:24	5.18 detik	152.29 ml	3.64 detik	113.57 ml	3.59 detik	109.85 ml
	8:30	5.18 detik	152.29 ml	3.68 detik	114.82 ml	3.59 detik	109.85 ml
	8:36	5.75 detik	169.05 ml	3.68 detik	114.82 ml	3.71 detik	113.53 ml
	8:42	5.49 detik	161.41 ml	3.73 detik	116.38 ml	3.73 detik	114.14 ml
	8:48	3.71 detik	109.07 ml	3.71 detik	115.75 ml	3.68 detik	112.61 ml
	8:54	3.66 detik	107.60 ml	3.71 detik	115.75 ml	3.68 detik	112.61 ml
	16:00	13.41 detik	394.25 ml	12.12 detik	378.14 ml	7.71 detik	235.93 ml
	16:06	9.22 detik	271.07 ml	11.86 detik	370.03 ml	6.77 detik	207.16 ml
	16:12	8.33 detik	244.90 ml	10.00 detik	312.00 ml	6.77 detik	207.16 ml
	16:18	6.77 detik	199.04 ml	6.77 detik	211.22 ml	6.77 detik	207.16 ml
	16:24	6.77 detik	199.04 ml	6.77 detik	211.22 ml	6.77 detik	207.16 ml
	16:30	6.77 detik	199.04 ml	6.77 detik	211.22 ml	6.77 detik	207.16 ml
	16:36	6.77 detik	199.04 ml	6.77 detik	211.22 ml	6.77 detik	207.16 ml
	16:42	6.77 detik	199.04 ml	6.77 detik	211.22 ml	6.60 detik	201.96 ml
	16:48	6.77 detik	199.04 ml	5.61 detik	175.03 ml	6.43 detik	196.76 ml
	16:54	5.61 detik	164.93 ml	5.61 detik	175.03 ml	6.01 detik	183.91 ml
Selasa,14-5-2024	8:00	16.36 detik	480.98 ml	12.34 detik	385.01 ml	3.52 detik	107.71 ml
	8:06	16.36 detik	480.98 ml	5.18 detik	161.62 ml	3.52 detik	107.71 ml
	8:12	6.28 detik	184.63 ml	5.18 detik	161.62 ml	3.52 detik	107.71 ml
	8:18	3.52 detik	103.49 ml	5.18 detik	161.62 ml	3.61 detik	110.47 ml
	8:24	3.52 detik	103.49 ml	5.18 detik	161.62 ml	3.68 detik	112.61 ml
	8:30	3.55 detik	104.37 ml	3.59 detik	112.01 ml	3.71 detik	113.53 ml
	8:36	3.64 detik	107.02 ml	3.64 detik	113.57 ml	3.73 detik	114.14 ml
	8:42	3.68 detik	108.19 ml	3.64 detik	113.57 ml	3.76 detik	115.06 ml
	8:48	3.68 detik	108.19 ml	3.71 detik	115.75 ml	3.76 detik	115.06 ml
	8:54	3.73 detik	109.66 ml	3.71 detik	115.75 ml	3.66 detik	112.00 ml
	16:00	8.33 detik	244.90 ml	7.41 detik	231.19 ml	16.48 detik	504.29 ml

	16:06	8.33 detik	244.90 ml	6.77 detik	211.22 ml	16.48 detik	504.29 ml
	16:12	8.33 detik	244.90 ml	6.77 detik	211.22 ml	8.01 detik	245.11 ml
	16:18	8.33 detik	244.90 ml	6.77 detik	211.22 ml	8.01 detik	245.11 ml
	16:24	6.77 detik	199.04 ml	6.77 detik	211.22 ml	7.07 detik	216.34 ml
	16:30	6.77 detik	199.04 ml	6.77 detik	211.22 ml	7.07 detik	216.34 ml
	16:36	5.61 detik	164.93 ml	6.77 detik	211.22 ml	7.69 detik	235.31 ml
	16:42	5.49 detik	161.41 ml	6.77 detik	211.22 ml	6.13 detik	187.58 ml
	16:48	5.49 detik	161.41 ml	5.81 detik	181.27 ml	5.50 detik	168.30 ml
	16:54	5.18 detik	152.29 ml	4.94 detik	154.13 ml	5.47 detik	167.38 ml
Rabu,15-5-2024	8:00	4.10 detik	120.54 ml	16.48 detik	514.18 ml	3.52 detik	107.71 ml
	8:06	4.10 detik	120.54 ml	16.48 detik	514.18 ml	3.52 detik	107.71 ml
	8:12	3.52 detik	103.49 ml	3.52 detik	109.82 ml	3.52 detik	107.71 ml
	8:18	3.59 detik	105.55 ml	3.52 detik	109.82 ml	3.52 detik	107.71 ml
	8:24	3.59 detik	105.55 ml	3.57 detik	111.38 ml	3.55 detik	108.63 ml
	8:30	3.64 detik	107.02 ml	3.64 detik	113.57 ml	3.55 detik	108.63 ml
	8:36	3.64 detik	107.02 ml	3.71 detik	115.75 ml	3.71 detik	113.53 ml
	8:42	3.71 detik	109.07 ml	3.71 detik	115.75 ml	3.71 detik	113.53 ml
	8:48	3.73 detik	109.66 ml	3.73 detik	116.38 ml	3.71 detik	113.53 ml
	8:54	3.73 detik	109.66 ml	3.66 detik	114.19 ml	3.71 detik	113.53 ml
	16:00	8.01 detik	235.49 ml	13.37 detik	417.14 ml	10.00 detik	306.0 ml
	16:06	8.33 detik	244.90 ml	12.62 detik	393.74 ml	10.00 detik	306.0 ml
	16:12	7.38 detik	216.97 ml	8.96 detik	279.55 ml	10.00 detik	306.0 ml
	16:18	7.38 detik	216.97 ml	8.01 detik	249.91 ml	10.00 detik	306.0 ml
	16:24	7.38 detik	216.97 ml	7.69 detik	239.93 ml	9.61 detik	294.07 ml
	16:30	6.77 detik	199.04 ml	7.69 detik	239.93 ml	7.69 detik	235.31 ml
	16:36	6.77 detik	199.04 ml	6.77 detik	211.22 ml	7.07 detik	216.34 ml
	16:42	6.13 detik	180.22 ml	6.77 detik	211.22 ml	7.07 detik	216.34 ml
	16:48	6.43 detik	189.04 ml	6.23 detik	194.38 ml	5.50 detik	168.30 ml
	16:54	5.47 detik	160.82 ml	5.75 detik	179.40 ml	4.67 detik	142.90 ml