

RANCANG BANGUN SISTEM IRIGASI OTOMATIS HORTIKULTURA BERBASIS ENERGI SURYA DAN IOT UNTUK EFISIENSI PENGGUNAAN AIR DAN ENERGI

Lathif Miftahuddin Ardeni; Hasyim Asy'ari, Teknik Elektro, Fakultas Teknik,
Universitas Muhammadiyah Surakarta

Abstrak

Sektor hortikultura membutuhkan sistem penyiraman yang mampu bekerja secara efisien agar produktivitas tanaman dapat meningkat tanpa menyebabkan pemborosan air dan energi. Penelitian ini difokuskan pada pengembangan sistem irigasi otomatis berbasis *Internet of Things (IoT)* dengan memanfaatkan energi surya sebagai sumber utama. Metode yang digunakan adalah pendekatan prototyping melalui tahapan perancangan, pembuatan, serta pengujian sistem secara langsung. Sistem dirancang menggunakan panel surya berkapasitas 100 Wp, sensor kelembaban tanah sebagai parameter utama penyiraman, flow sensor untuk mengukur volume air, sensor INA219 untuk memantau konsumsi energi pompa, serta sensor PZEM-017 untuk mengukur parameter listrik dari panel surya. Data diproses oleh ESP32 dan ditampilkan secara real-time melalui LCD dan aplikasi Blynk. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat beroperasi dengan stabil serta menunjukkan tingkat akurasi sensor yang baik, hal ini ditunjukkan oleh rata-rata display error flow sensor pada kisaran 0,15% dan sensor PZEM-017 di bawah 1%. Energi yang dihasilkan panel surya selama pengujian mencapai 81,36 Wh dan mampu digunakan untuk memenuhi kebutuhan pompa. Konsumsi energi pompa pada mode otomatis tercatat sebesar 5,31 Wh, sedangkan pada mode manual mencapai 8,63 Wh. Dari sisi penggunaan air, mode otomatis hanya menggunakan 79,4 liter, jauh lebih rendah dibandingkan mode manual yang mencapai 144,8 liter. Kondisi ini mengindikasikan bahwa sistem otomatis mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air dan energi secara signifikan. Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan dapat bekerja dengan baik serta menunjukkan pemanfaatan energi yang optimal dalam mendukung sistem irigasi yang lebih efisien dan berkelanjutan.

Kata Kunci: Irigasi Otomatis, *IoT*, Energi Surya, Hortikultura, Efisiensi Air, Efisiensi Energi.

Abstract

The horticultural sector requires an efficient irrigation system to increase plant productivity without wasting water and energy. This research focuses on the development of an automatic irrigation system based on the *Internet of Things (IoT)* by utilizing solar energy as the main source. The method used is a prototyping approach through the stages of design, manufacture, and direct system testing. The system is designed using a 100 Wp solar panel, a soil moisture sensor as the main watering parameter, a flow sensor to measure water volume, an INA219 sensor to monitor pump energy consumption, and a PZEM-017 sensor to measure electrical parameters from the solar panel. Data is processed by ESP32 and displayed in real-time via LCD and the Blynk application. The test results show that, the system can operate stably and shows a good level of sensor accuracy, this is indicated by the average display error of the flow sensor in the range of 0.15% and the PZEM-017 sensor below 1%. The energy generated by the solar panel during the test reached 81,36 Wh and can be used to meet the pump's needs. The pump's energy consumption in automatic mode was recorded at 5.31 Wh, while in manual mode it reached 8,63 Wh. In terms of water usage, the automatic mode only used 79.4 liters, significantly lower than the manual mode's 144,8 liters. This indicates that the automated system can significantly improve water and energy efficiency. Overall, the developed system performed well and demonstrated optimal energy utilization to support a more efficient and sustainable irrigation system.

Keywords: *Automatic Irrigation, IoT, Solar Energy, Horticulture, Water Efficiency, Energy Efficiency.*

1. PENDAHULUAN

Pertanian hortikultura khususnya bawang merah merupakan sektor yang sangat bergantung pada ketersediaan air untuk mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal. Berdasarkan penelitian (Prasetyo, 2024) menunjukkan bahwa kelembapan tanah optimal untuk bawang merah berada pada kisaran 60–70%. Referensi tersebut menjadi dasar dalam penentuan set point penyalan dan penghentian pompa pada sistem irigasi otomatis yang dikembangkan, dengan nilai set point yang disesuaikan berdasarkan kondisi media tanam pada penelitian ini.

Pada praktiknya, sistem penyiraman masih banyak dilakukan secara manual tanpa memperhatikan kondisi kelembaban tanah secara aktual. Metode ini umumnya hanya mengandalkan perkiraan pengguna, sehingga sering terjadi penyiraman yang tidak sesuai kebutuhan tanaman. Akibatnya, penggunaan air menjadi tidak efisien dan berpotensi menimbulkan pemborosan (Ali et al., 2025). Permasalahan ini juga banyak ditemukan pada sektor pertanian di Indonesia yang masih menggunakan metode konvensional tanpa dukungan teknologi monitoring yang memadai (Sembiring et al., 2025).

Selain permasalahan penggunaan air, konsumsi energi dalam sistem irigasi juga menjadi perhatian penting. Penggunaan pompa air yang tidak terkontrol dapat menyebabkan pemborosan energi listrik, terutama jika pompa dioperasikan dalam waktu yang tidak diperlukan. Penelitian menunjukkan bahwa penerapan sistem irigasi otomatis berbasis *IoT* mampu mengontrol penggunaan pompa secara lebih efisien sehingga dapat mengurangi konsumsi energi listrik (Saputra & Suryono, 2024).

Perkembangan teknologi *Internet of Things (IoT)* memberikan solusi dalam meningkatkan efisiensi sistem irigasi. Dengan memanfaatkan sensor kelembaban tanah, sistem dapat memonitor kondisi tanah secara *real-time* dan mengontrol penyiraman secara otomatis sesuai kebutuhan tanaman. Implementasi teknologi ini telah banyak dikembangkan di Indonesia dengan memanfaatkan sensor *soil moisture* dan mikrokontroler untuk meningkatkan akurasi penyiraman (Romadan et al., 2024).

Disisi lain, integrasi dengan energi terbarukan seperti panel surya juga menjadi solusi dalam mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi konvensional. Sistem irigasi berbasis tenaga surya memungkinkan sistem bekerja secara mandiri dan sangat cocok diterapkan pada daerah pertanian terpencil yang belum terjangkau listrik (Hulukati et al.,

2025). Lebih lanjut, sistem monitoring energi menjadi bagian penting dalam mengevaluasi kinerja sistem secara keseluruhan. Dengan adanya sensor energi, seperti pengukuran tegangan, arus, dan daya, penggunaan energi pada pompa serta energi yang dihasilkan oleh panel surya dapat dianalisis secara lebih akurat. Pendekatan ini juga telah diterapkan dalam sistem pertanian cerdas berbasis *IoT* untuk meningkatkan efisiensi dan performa sistem secara keseluruhan (Nur Rohman et al., 2025).

Selain itu, ada penelitian yang menunjukkan bahwa sistem irigasi berbasis *IoT* mampu menjaga kelembaban tanah pada kondisi optimal melalui pemantauan berbasis sensor secara kontinu. Bahkan, sistem irigasi otomatis dilaporkan mampu menghemat penggunaan air hingga lebih dari 30% dibandingkan metode manual serta meningkatkan produktivitas tanaman secara signifikan (M. B. Akanbi et al., 2025). Kondisi ini mengindikasikan bahwa sistem otomatis memiliki keunggulan yang signifikan dalam mendukung pertanian yang lebih efisien dan berkelanjutan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem irigasi otomatis berbasis *IoT* yang mampu mengontrol penyiraman tanaman berdasarkan kondisi kelembaban tanah. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menganalisis efisiensi penggunaan air dan energi melalui perbandingan antara mode otomatis dan manual, sehingga dapat diketahui kinerja sistem yang dikembangkan.

2. METODE

2.1 Tahapan Penelitian.

Penelitian ini menggunakan metode pendekatan *prototyping*, yaitu dengan merancang, membangun, dan menguji sistem secara langsung untuk mengetahui kinerja sistem irigasi otomatis berbasis *Internet of Things (IoT)*. Metode ini dipilih karena mampu menggambarkan kondisi nyata dari sistem yang dikembangkan melalui pengujian dan pengambilan data secara langsung.

Tahapan penelitian meliputi studi literatur, perancangan sistem, pembuatan alat, pengujian sistem, serta analisis data. Setiap tahapan dilakukan secara sistematis untuk memastikan bahwa sistem yang dirancang dapat bekerja sesuai dengan tujuan penelitian.

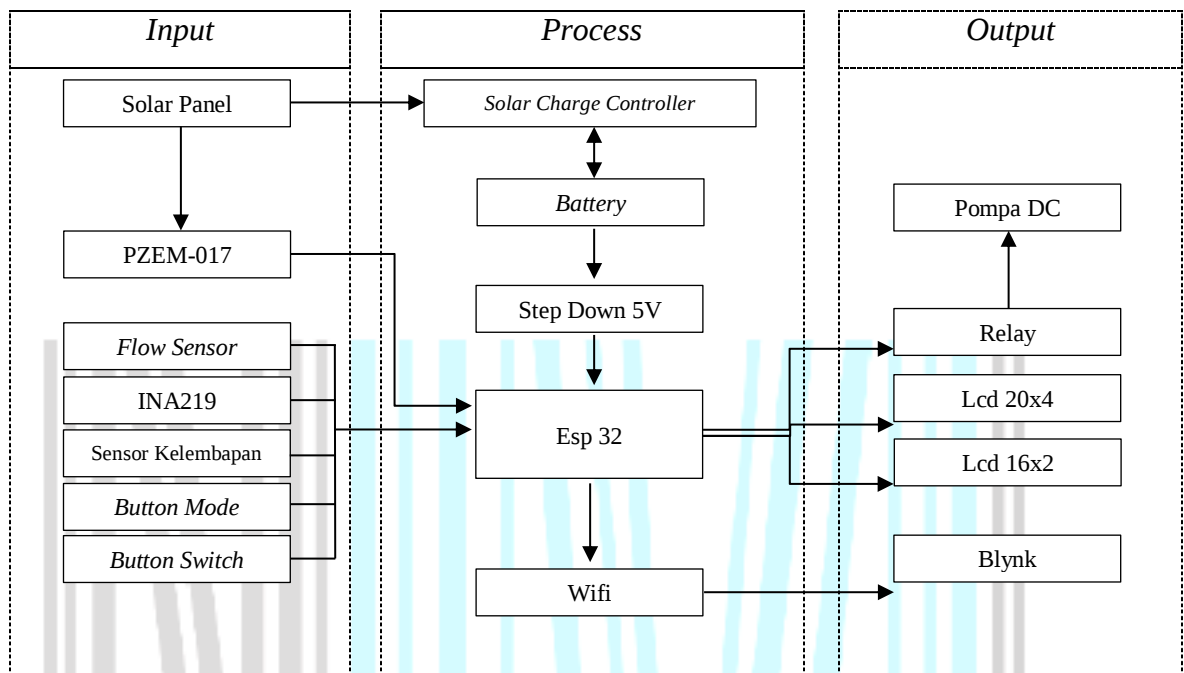
2.2 Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini terdiri dari beberapa komponen yang mendukung keberhasilan kinerja sistem irigasi otomatis. Pemilihan komponen dilakukan menyesuaikan kebutuhan penelitian. Daftar alat dan bahan yang digunakan tertera pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Alat dan Bahan

No	Alat dan Bahan	Jumlah
1	Panel Surya 100Wp	1
2	Pompa DC 12V 22 Watt	1
3	<i>Battery</i> 12V 12Ah	1
4	<i>Solar Charge Controller</i> 12/24V I _{max} 100A	1
5	ESP 32	1
6	<i>Flow Sensor</i>	1
7	Sensor Kelembapan Tanah	1
8	Sensor Pzem-017	1
9	Sensor INA219	1
10	Relay 5V	1
11	RS 485	1
12	<i>Buck Converter</i>	1
13	<i>Fan</i> DC 12v	1
14	Terminal Block	2
15	<i>Box Tombol</i>	1
16	<i>Box Sistem Alat</i>	1
17	MCB 6A	4
18	LCD I2C 16X2	1
19	LCD I2C 20X4	1
20	<i>Button Switch</i>	2
21	<i>Selector Switch</i>	1

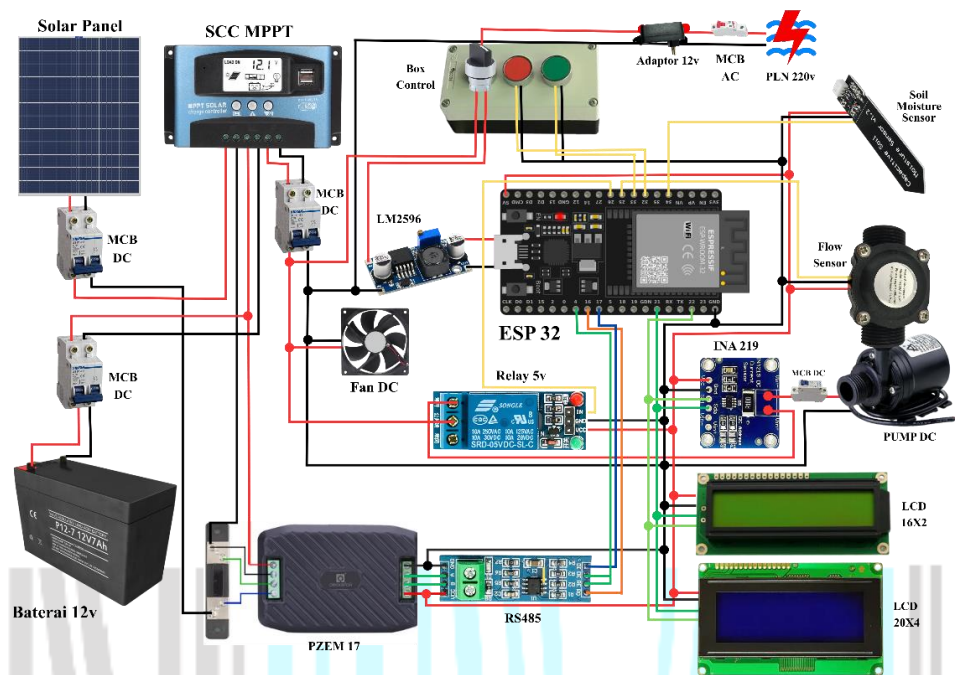
1.1 Blok Diagram Sistem



Gambar 1. Blok Diagram Sistem

Gambar 1 menunjukkan bahwa sistem irigasi otomatis berbasis *IoT* ini dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu input, proses, dan output. Pada bagian input, digunakan beberapa sensor seperti *soil moisture* untuk mengetahui kelembaban tanah, *flow meter* untuk mengukur volume air, INA219 untuk membaca tegangan, arus, dan daya pompa, serta PZEM-017 untuk memantau energi dari panel surya yang menjadi sumber daya utama sistem. Semua data dari sensor kemudian dikirim ke ESP32 sebagai pusat kontrol untuk diolah. Sistem bekerja dalam dua mode, yaitu otomatis dan manual. Pada mode otomatis pompa akan menyala saat tanah kering dan mati saat sudah cukup lembab, sedangkan pada mode manual pompa dikendalikan langsung oleh pengguna melalui aplikasi Blynk. Hasil pengolahan data ini kemudian digunakan untuk mengontrol relay sebagai penggerak pompa, sekaligus ditampilkan pada LCD dan aplikasi sehingga bisa dipantau secara *real-time*. Sistem ini menunjukkan bahwa penyiraman dapat dilakukan secara lebih tepat sesuai kondisi tanah dan penggunaan air serta energi bisa lebih efisien.

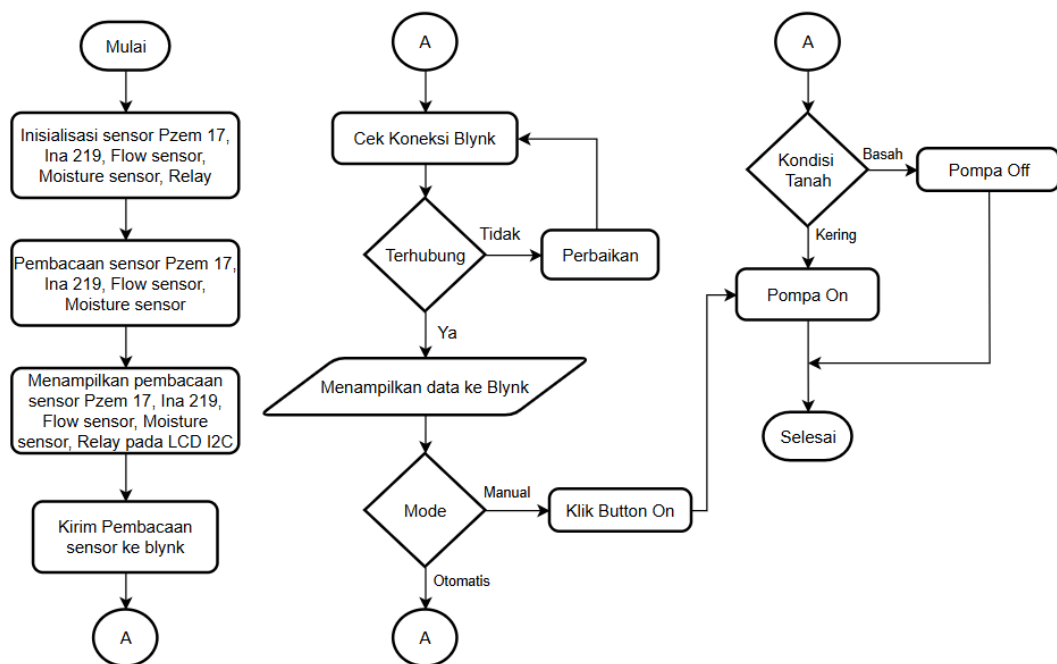
2.3 Perancangan *Hardware*



Gambar 2. Perancangan *Hardware*

Gambar 2 menunjukkan perancangan *hardware* sistem irigasi otomatis yang memanfaatkan panel surya sebagai sumber energi utama untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air dan listrik. Energi dari panel surya diatur oleh *solar charge controller* (SCC) untuk mengisi *Battery* sekaligus menyuplai daya ke seluruh sistem, dengan tambahan MCB sebagai pengaman serta sumber listrik PLN sebagai cadangan saat kondisi panel surya mati total/dalam perbaikan. Sistem dikendalikan oleh ESP32 yang mendapat tegangan dari SCC melalui modul step-down. Untuk monitoring, digunakan sensor PZEM-017 pada sisi panel surya dan INA219 pada pompa guna mengukur tegangan, arus, dan daya, sedangkan sensor *soil moisture* menjadi acuan utama dalam mengontrol penyiraman otomatis, sehingga pompa akan menyala saat tanah kering dan mati saat kelembaban cukup, serta dapat dikendalikan manual melalui tombol. Selain itu, *flow meter* digunakan untuk mengukur volume air agar efisiensi penggunaan air dapat dianalisis. Seluruh data ditampilkan pada LCD dan dikirim ke aplikasi Blynk sehingga sistem dapat dipantau secara *real-time* melalui smartphone.

2.4 Perancangan *Software*



Gambar 3. Diagram Alir Program

Gambar 3 menunjukkan alur kerja sistem irigasi otomatis berbasis *IoT* yang diawali dengan inisialisasi seluruh komponen seperti sensor PZEM-017, INA219, *flow* meter, sensor kelembaban tanah, dan relay. Setelah itu, sistem membaca data dari semua sensor dan menampilkannya pada LCD sebagai monitoring lokal, kemudian data dikirim ke aplikasi Blynk untuk pemantauan *real-time*. Sistem juga akan mengecek koneksi ke Blynk, dan jika belum terhubung akan terus mencoba hingga berhasil. Setelah terhubung, sistem masuk ke pemilihan mode operasi, yaitu manual dan otomatis. Pada mode manual, pompa dikendalikan langsung oleh pengguna melalui tombol. Sementara itu, pada mode otomatis, pompa bekerja berdasarkan nilai kelembaban tanah, yaitu akan menyala saat kondisi tanah kering dan mati saat kelembaban sudah cukup. Proses ini berjalan secara terus-menerus sehingga penyiraman dapat dilakukan secara otomatis dan efisien sesuai kondisi tanah.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

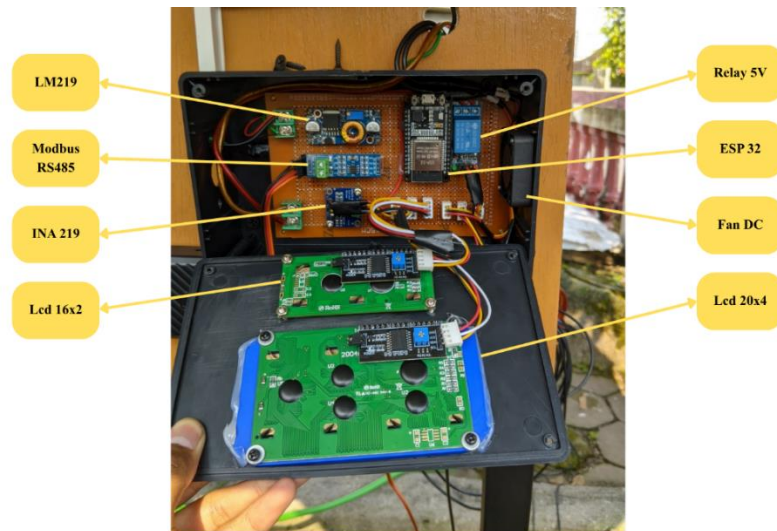
Pengujian dilakukan untuk menganalisis kinerja sistem irigasi otomatis berbasis *Internet of Things (IoT)* dalam mengontrol kelembaban tanah, penggunaan air, serta konsumsi energi. Selain itu, dilakukan analisis perbandingan antara mode otomatis dan manual untuk mengetahui tingkat efisiensi sistem.

3.1 Pembuatan Alat

Alat ini dirancang untuk menampilkan alur kerja sekaligus distribusi energi pada sistem irigasi berbasis tenaga surya yang terintegrasi dengan monitoring dan kontrol otomatis, dengan seluruh komponen ditempatkan dalam satu trainer agar lebih rapi dan aman. Sumber energi berasal dari panel surya yang diatur oleh *solar charge controller* (SCC) untuk mengisi *Battery* dan menyuplai daya ke sistem, dilengkapi MCB sebagai pengaman. Kinerja energi dipantau menggunakan sensor PZEM-017 dan shunt resistor, sementara ESP32 berperan sebagai pusat kendali yang mengolah data dari sensor dan mengirimkannya ke LCD serta aplikasi Blynk melalui WiFi. Sistem juga didukung komunikasi RS485 agar pembacaan lebih stabil. Untuk pengendalian, pompa diatur melalui relay dengan dua mode operasi, yaitu manual menggunakan push button dan otomatis berdasarkan sensor kelembaban tanah. Selain itu, *flow sensor* digunakan untuk mengukur volume air, dan kipas DC dipasang untuk menjaga suhu dalam box tetap stabil. Dengan rancangan ini, sistem tidak hanya berfungsi sebagai irigasi otomatis, tetapi juga memungkinkan monitoring air dan energi secara *real-time* serta analisis efisiensi penggunaan pada mode manual dan otomatis.



Gambar 4. Tampilan Rangkaian Alat



Gambar 5. Tampilan Rangkaian Elektronika

3.2 Tampilan Program dan *Internet of Things (IoT)*

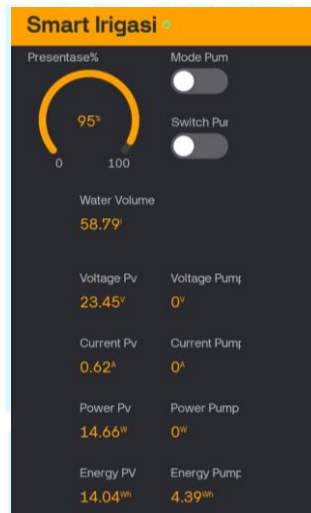
Sistem *IoT* pada alat ini diprogram menggunakan Arduino IDE dengan ESP32 sebagai pusat kendali untuk membaca data sensor dan mengatur kerja irigasi. Data dari sensor PZEM-017 dibaca melalui komunikasi RS485 menggunakan Modbus sehingga parameter listrik dari panel surya dapat terbaca dengan stabil, sedangkan sensor INA219 digunakan untuk memantau konsumsi energi pada pompa. ESP32 juga membaca nilai kelembaban tanah sebagai dasar pengendalian. Pada mode otomatis pompa akan menyala saat tanah kering dan mati saat kelembaban sudah cukup, sedangkan pada mode manual pompa dikendalikan langsung oleh pengguna tanpa mempertimbangkan kondisi tanah. Seluruh data kemudian dikirim ke aplikasi Blynk melalui WiFi dan ditampilkan secara *real-time*, meliputi kelembaban tanah, volume air, serta konsumsi energi. Volume air dihitung menggunakan *flow* sensor berbasis pulsa, sedangkan energi dihitung berdasarkan waktu penggunaan pompa. Data tersebut digunakan untuk menganalisis dan membandingkan efisiensi penggunaan air dan energi antara mode manual dan otomatis, sehingga dapat diketahui kinerja sistem secara keseluruhan.

```

Alhamdulillahfinal.ino
1  #define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPL6Q0nFH70c"
2  #define BLYNK_TEMPLATE_NAME "Smart Irigasi"
3  #define BLYNK_AUTH_TOKEN "200_aEAF6b3crmiGP9cZxtH3Mvp1D"
4
5  #include <Wifi.h>
6  #include <BlynkSimpleEsp32.h>
7  #include <Wire.h>
8  #include <LiquidCrystal_I2C.h>
9  #include <Adafruit_INA219.h>
10 #include <ModbusMaster.h>
11 #include <freertos/FreeRTOS.h>
12 #include <freertos/task.h>
13 #include <freertos/semphr.h>
14
15 // ===== WIFI =====
16 char ssid[] = "Arjuna Indonesia";
17 char pass[] = "arjunaindo";
18
19 // ===== PIN =====
20 #define MOISTURE_PIN 34
21 #define RELAY_PIN 26
22 #define FLOW_PIN 25
23 #define BUTTON_PUMP 33
24 #define BUTTON_MODE 32
25 #define MAX485_DE_RE 4
26 #define RXD2 16
27 #define TXD2 17
28

```

Gambar 6. Program Monitoring IoT



Gambar 7. Tampilan Aplikasi Blynk

3.3 Pengujian Sensor

3.3.1 Pengujian Sensor Kelembapan Tanah

Tabel 2. Pengujian Sensor Kelembapan Tanah

No	Kondisi Tanah	Kelembaban (%)		Error%
		Lcd	Blynk	
1	Kering	42	42	0
2	Lembab	80	80	0
3	Basah	94	94	0
Rata Rata		72	72	0

$$Display Error = \left(\frac{Nilai Lcd - Nilai Blynk}{Nilai Lcd} \right) \times 100\% \quad (1)$$

Berdasarkan Tabel 2, pengujian dilakukan pada tiga kondisi tanah yang ditetapkan berdasarkan set point sistem irigasi yang dikembangkan, yaitu kering (di bawah 70%), lembap (antara 70%–90%), dan basah (di atas 90%). Nilai set point tersebut ditetapkan dengan mengacu pada standar kelembapan tanah optimal bawang merah menurut (Prasetyo, 2024), yang kemudian disesuaikan dengan karakteristik sensor dan kondisi media tanam pada penelitian ini sehingga pompa menyala saat kelembapan di bawah 70% dan berhenti saat mencapai 90%. Hasilnya menunjukkan nilai yang sama antara tampilan LCD dan aplikasi Blynk tanpa selisih error. Pada kondisi kering terbaca 42%, lembap 80%, dan basah 94%, semuanya konsisten di kedua tampilan. Hal ini menunjukkan bahwa sensor kelembapan tanah bekerja dengan baik dalam membaca dan mengirim data secara real-time. Tidak adanya perbedaan data juga menandakan komunikasi antara sensor dan sistem IoT berjalan stabil tanpa gangguan. Berdasarkan hasil yang tertera, dapat disimpulkan bahwa sistem monitoring kelembapan tanah yang digunakan sudah cukup akurat dan dapat diandalkan.

3.3.2 Pengujian *Flow* Sensor

Tabel 3. Pengujian *Flow* Sensor

No	Volume Air (L)		Error%
	Lcd	Blynk	
1	14.5	14.47	0.21
2	20.6	20.59	0.05
3	26.2	26.15	0.19
Rata Rata	20.43	20.40	0.15

$$Display\ Error = \left(\frac{Nilai\ Lcd - Nilai\ Blynk}{Nilai\ Lcd} \right) \times 100\% \quad (2)$$

Berdasarkan Tabel 3, pengujian *flow* sensor dilakukan tiga kali dengan membandingkan hasil volume air antara LCD dan aplikasi Blynk, dan hasilnya menunjukkan selisih yang sangat kecil. Pada pengujian pertama terbaca 14,5 liter di LCD dan 14,47 liter di Blynk dengan error 0,21%, pengujian kedua 20,6 liter dan 20,59 liter dengan error 0,05%, serta pengujian ketiga 26,2 liter dan 26,15 liter dengan error 0,19%. Secara rata-rata diperoleh 20,43 liter di LCD dan 20,40 liter di Blynk dengan error sekitar 0,15%. Perbedaan kecil ini juga dipengaruhi oleh tampilan LCD yang hanya menampilkan satu angka di belakang koma sehingga terjadi pembulatan, sedangkan pada aplikasi nilai ditampilkan lebih detail. Secara keseluruhan, nilai error

yang rendah menunjukkan bahwa *flow* sensor memiliki akurasi yang baik, serta komunikasi data dari sensor ke aplikasi berjalan stabil tanpa gangguan. Dengan hasil yang konsisten tersebut, dapat disimpulkan bahwa *flow* sensor cukup akurat dan dapat diandalkan untuk sistem monitoring berbasis *IoT*.

3.3.3 Pengujian Sensor PZEM 17

Tabel 4. Pengujian Sensor PZEM 17

No	Multimeter			Sensor			Error%		
	V (V)	I (A)	P (W)	V (V)	I (A)	P (W)	V	I	P
1	24,1	0,37	8,92	23,9	0,37	8,84	0,82	0	0,89
2	23,2	0,425	9,86	23,1	0,42	9,7	0,43	1,17	1,62
3	22,3	0,562	12,53	22,2	0,56	12,43	0,48	0,35	0,79
4	20,4	0,651	13,28	20,3	0,65	13,19	0,49	0,15	0,67
Rata Rata	22,5	0,502	11,14	22,4	0,5	11,04	0,55	0,42	0,99

$$\text{Presentase Error} = \left(\frac{\text{Nilai Multimeter} - \text{Nilai Sensor}}{\text{Nilai Multimeter}} \right) \times 100\% \quad (3)$$

Berdasarkan Tabel 4, pengujian sensor PZEM-017 menunjukkan bahwa hasil pengukuran tegangan (V), arus (I), dan daya (P) memiliki selisih yang relatif kecil dibandingkan dengan *multimeter* sebagai acuan. Nilai error tegangan berada pada rentang sekitar 0,43% hingga 0,82% dengan rata-rata 0,55%, arus berkisar antara 0% hingga 1,17% dengan rata-rata 0,42%, dan daya berada pada kisaran 0,67% hingga 1,62% dengan rata-rata 0,99%. Perbedaan ini masih tergolong kecil dan wajar karena adanya toleransi alat ukur serta pembulatan pembacaan data pada sensor. Secara umum, hasil pengujian menunjukkan bahwa pembacaan sensor cukup konsisten dan mendekati nilai *multimeter*, sehingga dapat dikatakan bahwa sensor PZEM-017 memiliki akurasi yang baik dan bekerja secara stabil. Dengan demikian, sensor ini layak digunakan untuk monitoring parameter listrik PV pada sistem berbasis *IoT*.

3.3.4 Pengujian Sensor INA219

Tabel 5. Pengujian Sensor INA219

No	Multimeter			Sensor			Error%		
	V (V)	I (A)	P (W)	V (V)	I (A)	P (W)	V	I	P
1	11,5	0,88	10,1	11,3	0,86	9,7	1,74	2,3	3,9
2	11,5	0,92	10,5	11,3	0,91	10,2	1,74	1,1	2,8
3	11,6	1,78	20,6	11,4	1,76	20,1	1,72	1,1	2,4
4	11,6	1,81	20,9	11,5	1,80	20,7	0,86	0,5	0,95
Rata Rata	11,55	1,35	15,5	11,38	1,33	15,2	1,5	1,25	2,5

$$Presentase\ Error = \left(\frac{Nilai\ Multimeter - Nilai\ Sensor}{Nilai\ Multimeter} \right) \times 100\%$$

(4)

Berdasarkan Tabel 5, pengujian sensor INA219 menunjukkan bahwa hasil pengukuran tegangan (V), arus (I), dan daya (P) memiliki selisih yang relatif kecil dibandingkan dengan multimeter sebagai acuan. Nilai error tegangan berada pada kisaran sekitar 0,86% hingga 1,74% dengan rata-rata 1,5%, arus berkisar antara 0,5 % hingga 2,3% dengan rata-rata 1,25%, dan daya berada pada kisaran 0,95% hingga 3,9% dengan rata-rata 2,5%. Perbedaan ini masih tergolong wajar karena adanya toleransi alat ukur, kondisi beban, serta karakteristik sensor dalam membaca arus dan daya. Secara umum, hasil pengujian menunjukkan bahwa pembacaan sensor cukup konsisten dan mendekati nilai multimeter, sehingga dapat dikatakan bahwa sensor INA219 memiliki akurasi yang cukup baik dan bekerja secara stabil.

3.4 Pengujian Panel Surya

Tabel 6. Pengujian Panel Surya

No	Waktu	Iradiasi (Lux)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Energi (Wh)
1	09.00	45200	17,2	0,58	9,98	0
2	10.00	68450	18,1	1,12	20,27	10,12
3	11.00	98500	18,7	1,86	34,78	30,45
4	12.00	132400	19,1	3,12	59,59	60,12
5	13.00	92400	18,8	1,54	28,95	72,48
6	14.00	61800	18,2	0,67	12,19	81,36

Berdasarkan Tabel 6, hasil pengujian panel surya menunjukkan bahwa nilai daya mengalami perubahan seiring waktu pengukuran dan intensitas cahaya matahari. Daya tertinggi sebesar 59,59 W terjadi pada pukul 12.00 saat intensitas cahaya mencapai 132400 lux, sedangkan daya terendah sebesar 9,98 W terjadi pada pukul 09.00 dengan intensitas 45200 lux. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi intensitas cahaya matahari yang diterima panel surya, maka daya yang dihasilkan juga semakin besar. Tegangan relatif stabil di kisaran 17,2–19,1 V, sementara perubahan daya lebih dipengaruhi oleh naik turunnya arus akibat perubahan intensitas cahaya matahari. Energi yang dihasilkan terus meningkat dari awal hingga akhir pengujian hingga mencapai 81,36 Wh selama 5 jam pengujian. Penggunaan panel surya 100 Wp dipilih agar suplai energi sistem tetap stabil, tidak hanya untuk menyuplai pompa 22 watt tetapi juga kebutuhan ESP32, sensor, LCD, relay, dan proses pengisian battery. Selain itu, kapasitas panel yang lebih besar juga bertujuan untuk mengantisipasi penurunan daya akibat perubahan cuaca sehingga sistem tetap dapat bekerja dengan baik selama pengujian berlangsung.

3.5 Pengujian Daya Pompa

Tabel 7. Pengujian Daya Pompa

No	Waktu	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
1	09.08	13.53	1.75	23.71
2	10.45	13.44	1.83	24.62
3	12.18	13.48	1.77	23.86
4	13.31	13.46	1.79	24.09
5	14.05	13.50	1.76	23.76

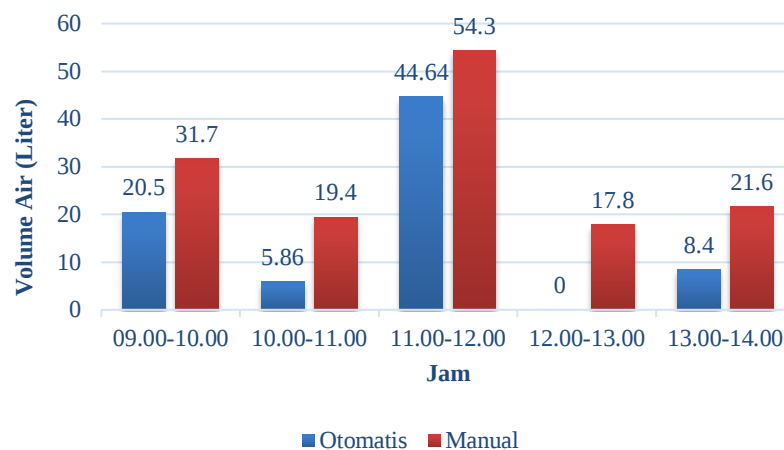
Berdasarkan Tabel 7, tegangan pompa terlihat stabil di kisaran 13,44 hingga 13,53 V, yang menunjukkan suplai daya dari sistem sudah cukup baik. Sementara itu, arus berada pada kisaran 1,75 hingga 1,83 A dan mengalami sedikit perubahan sesuai kondisi beban saat pompa bekerja. Perubahan arus ini berpengaruh langsung terhadap daya, sehingga daya yang dihasilkan berada di kisaran 23,7 hingga 24,6 W meskipun tegangannya relatif konstan. Hal ini menunjukkan bahwa pompa bekerja dengan stabil dan tetap responsif terhadap perubahan beban selama proses pengujian. Kondisi ini menunjukkan bahwa pompa bekerja dengan baik dan responsif terhadap perubahan beban selama pengujian, serta sistem mampu menyuplai tegangan secara stabil.

3.6 Perbandingan Sistem Otomatis dan Manual

3.6.1 Efisiensi Air

Tabel 8. Perbandingan Konsumsi Volume Air

No	Waktu	Mode Otomatis		Mode Manual		Selisih (L)
		Lama Pompa ON (Menit)	Volume Air (L)	Lama Pompa ON (Menit)	Volume Air (L)	
1	09.00-10.00	±6	20,5	±8	31,7	11,2
2	10.00-11.00	±2	5,86	±5	19,4	13,54
3	11.00-12.00	±12	44,64	±14	54,3	9,66
4	12.00-13.00	0	0	±4	17,8	17,8
5	13.00-14.00	±4	8,4	±6	21,6	13,2
Total		±24	79,4	±37	144,8	65,4



Gambar 8. Grafik Perbandingan Konsumsi Air

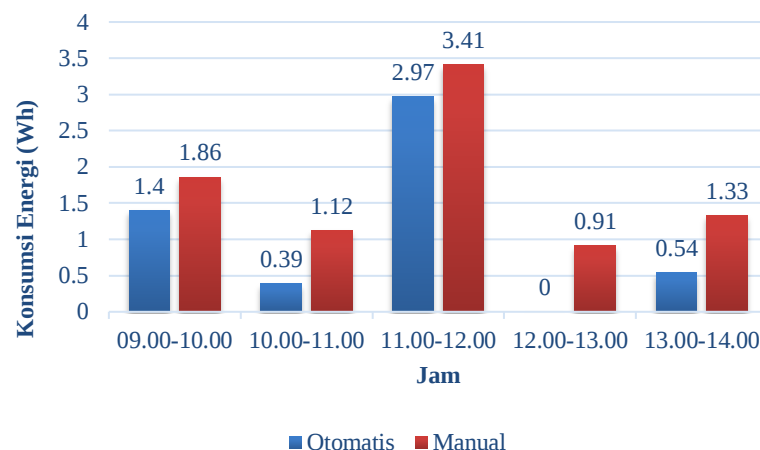
Berdasarkan Tabel 8 dan Gambar 8, pengujian dilakukan menggunakan acuan waktu yang sama antara mode otomatis dan mode manual sehingga terlihat adanya perbedaan penggunaan air pada kedua mode tersebut. Pada mode manual, lama pompa menyala mengikuti kebiasaan penyiraman petani dengan durasi yang relatif lebih lama pada setiap rentang waktu pengujian, sehingga volume air yang digunakan cenderung lebih besar dengan total mencapai 144,8 liter. Sementara itu, pada mode otomatis lama pompa menyala menyesuaikan kondisi kelembapan tanah yang terdeteksi oleh sensor, sehingga ketika kelembapan tanah masih berada pada kondisi yang sesuai maka pompa tidak menyala dan penggunaan air menjadi lebih rendah. Oleh karena itu, total penggunaan air pada mode otomatis hanya sebesar 79,4 liter. Dari hasil perbandingan

tersebut dapat diketahui bahwa mode otomatis lebih efisien dalam penggunaan air dibandingkan mode manual dengan penghematan air sebesar 65,4 liter karena penyiraman hanya dilakukan saat tanaman membutuhkan air.

3.6.2 Efisiensi Energi

Tabel 9. Perbandingan Konsumsi Energi Pompa

No	Waktu	Mode Otomatis		Mode Manual		Selisih (Wh)
		Lama Pompa ON (Menit)	Energi (Wh)	Lama Pompa ON (Menit)	Energi (Wh)	
1	09.00-10.00	±6	1,4	±8	1,86	0,46
2	10.00-11.00	±2	0,39	±5	1,12	0,73
3	11.00-12.00	±12	2,97	±14	3,41	0,44
4	12.00-13.00	0	0	±4	0,91	0,91
5	13.00-14.00	±4	0,54	±6	1,33	0,79
Total		±24	5,31	±37	8,63	3,32



Gambar 9. Grafik Perbandingan Konsumsi Energi

Berdasarkan Tabel 9 dan Gambar 9, pengujian konsumsi energi pompa dilakukan menggunakan acuan waktu yang sama antara mode otomatis dan mode manual, sehingga terlihat adanya perbedaan penggunaan energi pada kedua mode tersebut. Pada mode manual, lama pompa menyala mengikuti kebiasaan penyiraman petani dengan durasi yang relatif lebih lama pada setiap rentang waktu pengujian, sehingga konsumsi energi yang digunakan cenderung lebih besar dengan total mencapai 8,63 Wh. Sementara itu, pada mode otomatis lama pompa menyala menyesuaikan kondisi kelembapan tanah yang terdeteksi oleh sensor, sehingga ketika kelembapan tanah

masih berada pada kondisi yang sesuai maka pompa tidak menyala dan penggunaan energi menjadi lebih rendah. Oleh karena itu, total konsumsi energi pada mode otomatis hanya sebesar 5,31 Wh. Dari hasil perbandingan tersebut dapat diketahui bahwa mode otomatis lebih efisien dalam penggunaan energi dibandingkan mode manual dengan penghematan energi sebesar 3,32 Wh karena pompa hanya bekerja saat tanaman membutuhkan penyiraman.

4. PENUTUP

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, serta pengujian yang telah dilakukan, sistem irigasi otomatis berbasis *Internet of Things (IoT)* dengan memanfaatkan energi surya dapat bekerja sesuai dengan yang direncanakan. Sistem mampu melakukan pengendalian penyiraman berdasarkan kondisi kelembaban tanah secara *real-time*, sehingga proses penyiraman menjadi lebih tepat dan terkontrol. Di sisi lain, integrasi antara sensor, mikrokontroler, serta sistem monitoring berbasis aplikasi berjalan dengan baik dan stabil selama pengujian.

Dari hasil pengujian, diperoleh bahwa penggunaan mode otomatis memberikan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan mode manual. Penggunaan air pada mode otomatis tercatat lebih rendah, yaitu sebesar 79,4 liter dibandingkan 144,8 liter pada mode manual dengan selisih mencapai 65,4 liter. Hal yang sama juga terjadi pada konsumsi energi, dengan mode otomatis hanya membutuhkan 5,31 Wh, sedangkan mode manual mencapai 8,63 Wh dengan selisih mencapai 3,32 Wh. Hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu mengoptimalkan penggunaan sumber daya sesuai kebutuhan aktual di lapangan.

Disisi lain, energi yang dihasilkan oleh panel surya selama pengujian terbukti mampu memenuhi kebutuhan operasional sistem, sehingga menunjukkan bahwa pemanfaatan energi terbarukan dapat diterapkan secara efektif pada sistem irigasi skala kecil. Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan tidak hanya mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air dan energi, tetapi juga memberikan solusi yang lebih praktis dan berkelanjutan dalam mendukung kegiatan pertanian hortikultura.

PERSANTUNAN

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penelitian dan penyusunan naskah publikasi ini dapat diselesaikan dengan baik. Naskah ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik.

Penulis menyadari bahwa proses penyusunan penelitian ini tidak terlepas dari bantuan, dukungan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua yang selalu memberikan doa, dukungan, serta motivasi selama proses penyelesaian studi.
2. Bapak Hasyim Asy'ari, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan bimbingan selama penelitian berlangsung.
3. Seluruh dosen Program Studi Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu dan pengalaman selama masa perkuliahan.
4. Teman-teman serta semua pihak yang telah membantu, baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam penyelesaian penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa naskah ini masih memiliki keterbatasan, sehingga kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan untuk pengembangan penelitian selanjutnya. Semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat serta menjadi referensi dalam pengembangan sistem irigasi berbasis teknologi yang lebih efisien dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, A., Hussain, T., & Zahid, A. (2025). Smart Irrigation Technologies and Prospects for Enhancing Water Use Efficiency for Sustainable Agriculture. In *AgriEngineering* (Vol. 7, Number 4). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/agriengineering7040106>
- Hulukati, S. A., Salihin, I. A., & Usman, I. F. (2025). Integrasi Internet Of Things (IoT) dengan Google Assistant untuk Optimalisasi Pengelolaan Kelembaban Tanah dan Kontrol Pompa. *Digital Transformation Technology*, 5(1), 180–190. <https://doi.org/10.47709/digitech.v5i1.6006>
- M. B. Akanbi, K. J. Adedotun, A. K. Raji, & I. K. Banjoko. (2025). Optimizing Water Resource Management in Agriculture Using AI-Powered Solar Irrigation Systems. *Journal of Science Innovation and Technology Research*. <https://doi.org/10.70382/ajsitr.v7i9.011>
- Nur Rohman, F., Addien Gilang Saputra, M., Nurbayu Dila, M., Singaperbangsa Karawang, U., HSRonggo Waluyo, J., & Timur, T. (2025). *Jurnal Riset Multidisiplin Edukasi SISTEM SMART IRRIGATION BERBASIS IOT DENGAN MONITORING KELEMBABAN TANAH, SUHU, DAN DETEKSI HUJAN* (Vol. 2). <https://journal.hasbaedukasi.co.id/index.php/jurmieHalaman:695-710>
- Prasetyo.(2024).Scientica+PENGKONDISIAN+SUHU,+CAHAYA+DAN+KELEMBABAN+TANAH+PADA+PROTOTYPE+GREEN+HOUSE+UNTUK+BAWANG+MEERAH+BERBASIS+IOT
- Romadan, D. P., Arinal, V., Sarimole, F. M., & Tundo, T. (2024). Prototipe Sistem Monitoring Kelembapan Tanah pada Tanaman Cabai Berbasis Internet of Things dengan Metode Fuzzy Logic Menggunakan NodeMCU Esp8266, Blynk dan Thingspeak. *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, 5(1), 130–140. <https://doi.org/10.57152/malcom.v5i1.1600>
- Saputra, M. J., & Suryono, R. R. (2024). Implementasi Teknologi Irigasi Tetes pada Tanaman Jagung Menggunakan Sensor Soil Moisture dan Mikrokontroler Esp 32. *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, 5(1), 111–118. <https://doi.org/10.57152/malcom.v5i1.1642>
- Sembiring, D. J., Kaban, R., Br Surbakti, A., & Margaretta Br Tarigan, I. (2025). *Cendana International Conference on Social and Technology (CICoST) Design and Implementation of an IoT-Based Automatic Irrigation System Using Soil Moisture Sensors and Automated Water Gate Control*.