

ANALISIS KINERJA KENDALI OTOMATIS GREENHOUSE PIGGYBACK BERBASIS PLC DENGAN METODE IRIGASI SUMBU (WICK SYSTEM)

Gustiari Martua Siregar¹, Hamdani², Beni Satria³

^{1,2,3}Universitas Pembangunan Panca Budi

gustiarsiregar19@gmail.com

Corresponding Author: Gustiari Martua Siregar

ABSTRACT

This study aims to analyze the performance of an automated control system in a piggyback greenhouse that implements a Programmable Logic Controller (PLC) as the control center, using a wick irrigation system for the plants. A piggyback greenhouse is a multi-story greenhouse concept designed for space efficiency in urban agriculture. This system utilizes soil moisture, temperature, and light sensors to monitor environmental conditions, along with actuators such as water pumps and ventilation systems controlled by a PLC. The wick irrigation method was chosen for its efficiency and energy savings, as water is absorbed by the plants through capillary action. Tests were conducted in several environmental scenarios to assess the response and stability of the automated control system. The test results showed that the system was able to consistently maintain soil moisture within the optimal range of 60–80%, with an average response time of 3 seconds for pump activation. Furthermore, the use of a PLC allows for flexibility in control logic settings and operational efficiency. Overall, the PLC-based piggyback greenhouse system with wick irrigation has proven effective in improving agricultural environmental control and supporting small-scale precision agriculture concepts. This research can serve as a basis for further development in the application of automation technology in the modern urban agricultural sector.

Keywords: PLC, piggyback greenhouse, automatic control, wick system, wick irrigation, and precision agriculture

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja sistem kendali otomatis pada greenhouse piggyback yang mengimplementasikan Programmable Logic Controller (PLC) sebagai pusat kendali, dengan metode irigasi sumbu (wick system) sebagai teknik pengairan tanaman. Greenhouse piggyback merupakan konsep rumah kaca bertingkat yang dirancang untuk efisiensi ruang dalam budidaya pertanian perkotaan. Sistem ini menggunakan sensor kelembaban tanah, suhu, dan cahaya untuk memantau kondisi lingkungan, serta aktuator seperti pompa air dan sistem ventilasi yang dikendalikan oleh PLC. Metode irigasi sumbu dipilih karena efisien dan hemat energi, di mana air diserap oleh tanaman melalui media kapiler. Pengujian dilakukan dalam beberapa skenario lingkungan untuk menilai respons dan stabilitas sistem kendali otomatis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menjaga kelembaban tanah dalam kisaran optimal 60–80% secara konsisten, dengan respon waktu rata-rata 3 detik untuk aktivasi pompa. Selain itu, penggunaan PLC memungkinkan fleksibilitas pengaturan logika kendali dan efisiensi operasional. Secara keseluruhan, sistem greenhouse piggyback berbasis PLC dengan irigasi sumbu terbukti efektif dalam meningkatkan kontrol lingkungan pertanian dan mendukung konsep pertanian presisi skala kecil. Penelitian ini dapat menjadi dasar pengembangan lebih lanjut dalam penerapan teknologi otomatisasi pada sektor pertanian urban modern.

Kata kunci: PLC, greenhouse piggyback, kendali otomatis, wick system, irigasi sumbu, dan pertanian presisi

PENDAHULUAN.

Pertumbuhan sektor pertanian modern kini semakin mengarah pada pemanfaatan teknologi otomatisasi guna meningkatkan efisiensi dan produktivitas. Salah satu bentuk inovasi yang berkembang adalah penggunaan greenhouse atau rumah kaca sebagai media tanam yang memungkinkan kontrol iklim mikro untuk mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal. Dalam konteks ini, penerapan sistem kendali otomatis berbasis Programmable Logic Controller (PLC) menjadi salah satu solusi unggul untuk mengelola parameter lingkungan dalam greenhouse seperti suhu, kelembaban, dan irigasi.



Lisensi

Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0.

Greenhouse piggyback, yang merupakan model rumah kaca bertingkat atau kompak dengan struktur modular, sangat cocok digunakan pada area sempit atau perkotaan. Untuk menunjang efisiensinya, sistem irigasi yang hemat air seperti metode irigasi sumbu (wick system) banyak digunakan karena bersifat pasif dan tidak membutuhkan pompa tekanan tinggi. Sistem ini bekerja dengan prinsip kapilaritas, di mana air diserap oleh sumbu dari reservoir ke media tanam sesuai kebutuhan tanaman. Namun, agar sistem irigasi ini dapat berjalan optimal dan konsisten, dibutuhkan integrasi dengan sistem kendali otomatis. Oleh karena itu, penggunaan PLC sebagai otak pengendalian sangat strategis, karena PLC mampu memproses data sensor lingkungan (seperti sensor kelembaban tanah, suhu udara, dan cahaya) untuk mengatur waktu dan durasi irigasi secara presisi. Dengan menggabungkan teknologi PLC dan irigasi sumbu dalam greenhouse piggyback, sistem pertanian menjadi lebih efisien, minim intervensi manusia, serta lebih ramah lingkungan. Analisis kinerja sistem ini penting untuk mengetahui sejauh mana keefektifan sistem kendali otomatis dalam menjaga parameter lingkungan dan mendukung pertumbuhan tanaman yang optimal.

LANDASAN TEORI.

2.1. Penelitian Sebelumnya.

Banyak penelitian yang telah dilakukan mengenai sistem pengendalian nutrisi pada hidroponik, salah satunya dilakukan oleh Fachriel Fadhilah Dzkriansyah dkk[2]. Menggunakan Arduino Uno sebagai mikrokontroler dan HMI sebagai antarmuka, mereka mengembangkan sistem kendali pemupukan tanaman hidroponik berbasis PID. Tujuan sistem kendali ini adalah untuk membantu petani hidroponik mengurangi kegagalan panen akibat pemberian pupuk yang tidak terkontrol dengan baik.[2]. Fachriel Fadhilah Dzkriansyah menghasilkan hasil nilai EC dengan persentase kesalahan sebesar 14,04% dan pembacaan PPM dengan persentase kesalahan sebesar 35,58% berdasarkan perancangan sistem pengendalian nutrisi.[2]. Sifat sensor yang dibuat sendiri dan kalibrasinya yang tidak tepat kemungkinan menjadi penyebab kesalahan signifikan dalam pengukuran PPM. Studi-studi ini menunjukkan betapa pentingnya pemberian nutrisi secara teratur dan dalam dosis yang tepat untuk pertumbuhan terbaik.

Pada tahun 2017, Vaibhav Palade dkk[6] juga melakukan penelitian tentang pembuatan sistem otomasi untuk tanaman hidroponik. Mereka menggunakan dua Arduino UNO, satu Arduino Mega, dan satu Raspberry Pi sebagai mikrokontroler, serta Domoticz sebagai antarmuka dalam sistem otomasi mereka. Sistem mereka dirancang untuk meminimalkan keterlibatan manusia. Mereka memungkinkan pemantauan dan pengendalian jarak jauh bila diperlukan dengan memanfaatkan Internet of Things (IoT). [6] Berkat pemantauan dan manajemen yang mereka terapkan, mereka memiliki kendali penuh atas faktor-faktor yang memengaruhi pertumbuhan tanaman.

Kemudian, pada tahun 2019, Adi Fajaryanto Cobantoro dkk. melakukan penelitian berjudul "Otomatisasi Rumah Kaca Berbasis Mikrokomputer RASPBERRY PI" [7]. Proyek ini mengembangkan sistem otomasi untuk mengendalikan dan memantau suhu dan kelembapan di dalam rumah kaca. Pertumbuhan tanaman di dalam rumah kaca dapat mencapai hasil maksimal jika dikelola oleh sistem yang dirancang, berbeda dengan tanaman yang ditanam di luar rumah kaca.[7].

2.2. Hidroponik

Hidroponik adalah metode bercocok tanam yang tidak membutuhkan tanah dan menggunakan larutan nutrisi dari pembibitan hingga panen. Hidroponik memungkinkan penggunaan beragam media tanam, termasuk hidrotan, *cocopeat*, *rockwool*, arang sekam padi, serbuk kayu, dan lainnya. Tanaman yang dibudidayakan secara hidroponik meliputi tanaman hortikultura seperti sayuran dan daun-daunan, buah-buahan, tanaman hias, dan tanaman obat.[8]. Tanaman hidroponik membutuhkan unsur hara mikro dan makro agar tumbuh subur. Unsur hara makro meliputi N, P, K, Ca, S, dan Mg, sedangkan unsur hara mikro meliputi Mn, Fe, Zn, B, Cu, Mo, Ni, dan Cl[9]. Untuk memenuhi kebutuhan unsur hara tanaman, petani hidroponik menggunakan pupuk AB-Mix. Selain itu, pertumbuhan tanaman dipengaruhi oleh sinar matahari, suhu, dan kelembapan. Tanaman dapat berkembang optimal pada suhu tertentu, sebagaimana dibuktikan oleh penelitian Mareli Telaumbanua dkk. tentang pola pertumbuhan sawi hijau di lingkungan rumah kaca yang terkontrol.[3]. Dalam penelitian mereka, mereka mengungkapkan bahwa suhu memengaruhi laju pertumbuhan sawi hijau. Pengujian dilakukan pada tiga suhu: 32°C, 35°C, dan 38°C. Pertumbuhan



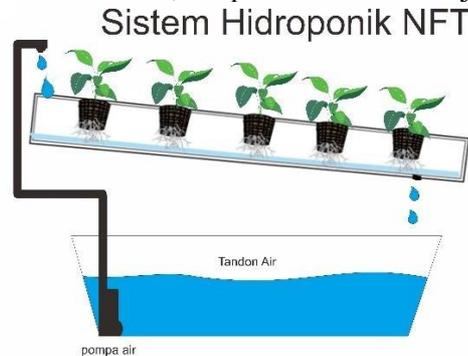
Lisensi

Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0.

tanaman terbaik dicapai pada suhu 35°C, dengan luas daun maksimum 565,41 cm², diikuti oleh suhu 32°C, yang rata-ratanya 537,72 cm², dan 38°C, yang rata-ratanya 372,18 cm². [3].

- Sistem Hidroponik Nutrient Film Technique (NFT)

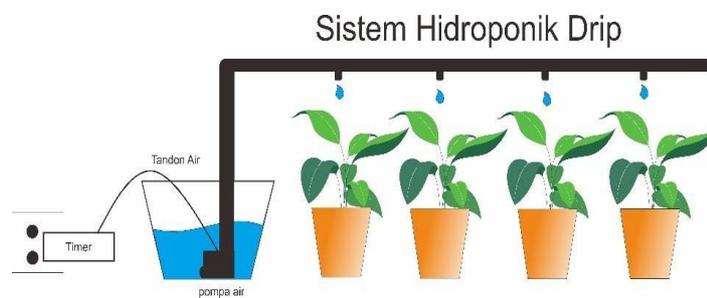
Sistem NFT adalah sistem hidroponik yang populer. Sistem ini terus-menerus mengalirkan air kaya nutrisi melalui talang atau pipa PVC, yang berfungsi sebagai media tanam. Setelah melewati akar, air kaya nutrisi tersebut kembali ke sebuah tandon, tempat siklus ini berlanjut. [9].



Gambar 1. Sistem Hidroponik NFT-

- Sistem Hidroponik Irigasi Tetes / Drip

Sistem hidroponik tetes adalah salah satu yang paling sederhana karena hanya menyediakan air dan nutrisi dalam bentuk tetesan. Ada dua jenis irigasi tetes: *recovery* dan *non-recovery*. Model *recovery* mengembalikan larutan nutrisi ke reservoir, sedangkan sistem *non-recovery* membiarkannya mengalir ke tanah. [8].



Gambar 2. Sistem Hidroponik Drip

2.3. Nutrisi Hidroponik

Salah satu aspek terpenting dalam bercocok tanam hidroponik adalah memenuhi kebutuhan nutrisi tanaman dan memastikan konsentrasi larutan yang tepat. Oleh karena itu, sangat penting untuk memeriksa kadar PPM terlarut dalam air. TDS meter sering digunakan untuk menentukan konsentrasi padatan terlarut dalam air. [8] Nutrisi hidroponik dapat diberikan sesuai dengan dosis nutrisi AB-Mix; misalnya, 500 ml nutrisi AB-Mix dapat dicampur dengan 100 liter air. Nutrisi AB-Mix juga dilengkapi petunjuk pencampuran. Gambar di bawah ini menunjukkan nutrisi AB-Mix.



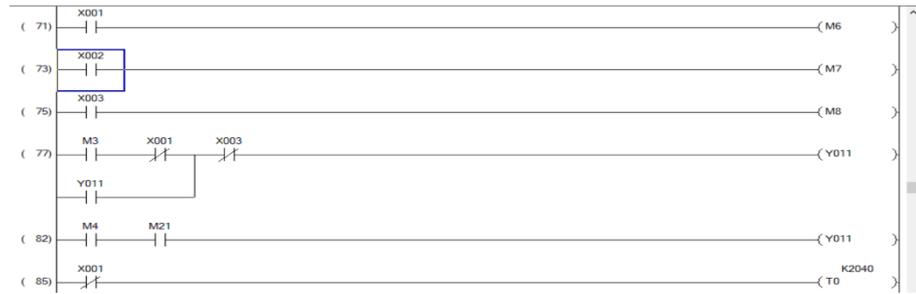
Gambar 3. Nutrisi Hidroponik AB-Mix

2.4. PLC (Programmable Logic Controller)

PLC adalah perangkat yang dapat diprogram untuk mengendalikan proses atau aktivitas mesin. Kontrol program PLC memeriksa sinyal masukan dan menyesuaikan status keluaran berdasarkan pilihan pengguna. Status masukan PLC digunakan dan disimpan dalam memori, dan PLC menjalankan instruksi logika berdasarkan status masukan tersebut. Perangkat masukan meliputi sensor fotolistrik, sakelar batas, tombol tekan, dan lain-lain. Perangkat keluaran meliputi sakelar yang menyalakan lampu indikator, relai yang menggerakkan motor, dan perangkat lain yang dapat dikendalikan oleh sinyal keluaran PLC [10]. Terdapat berbagai jenis PLC, termasuk PLC Mitsubishi FX3U, yang memiliki 24 *digital input* dan 16 *digital output*, serta 2 *analog input* dan 2 *analog output*. Untuk komunikasi serialnya memiliki satu RS232 dan satu RS485, untuk bentuk dari PLC-nya dapat dilihat pada Gambar 4.



Diagram Ladder merupakan bahasa pemrograman populer untuk PLC. Namun, bahasa pemrograman alternatif yang dapat digunakan untuk memprogram PLC antara lain Function Block Diagram (FBD), Instruction List (IL), Structure Text (ST), Sequential Function Chart (SFC), dan Statement List (SL)[19]. Diagram Ladder mensimulasikan logika yang diterapkan langsung oleh relai. Diagram Ladder membantu teknisi mencapai tujuan mereka dengan mengurangi kompleksitas yang terlibat.[19].



Gambar 5. Ladder Diagram

2.5. Solenoid Valve

Katup solenoid adalah elemen kontrol yang umum digunakan dalam aliran fluida. Fungsinya adalah mengalirkan, menghentikan, melepaskan, dan mencampur fluida. Katup solenoid banyak digunakan dalam industri seperti uap, minyak dan gas, pengolahan air limbah, dan petrokimia. Katup solenoid bekerja secara elektromekanis, dengan kumparan sebagai penggerak. Ketika kumparan terkena tegangan (DC atau AC), kumparan tersebut berubah menjadi magnet, yang menyebabkan piston (plugger) bergerak di dalamnya.[13].



Gambar 6. Solenoid Valve

2.6. RTC (Real Time Clock) DS3231

RTC adalah modul yang memungkinkan Anda mengambil data waktu seperti jam, menit, dan detik, serta data kalender seperti hari, bulan, dan tahun. Terdapat berbagai jenis RTC, termasuk DS3231. Antarmuka modul ini dapat diakses melalui dua kabel (SCL dan SDA) atau I2C. RTC DS3231 dilengkapi baterai sendiri yang berfungsi sebagai cadangan jika terjadi pemadaman listrik.



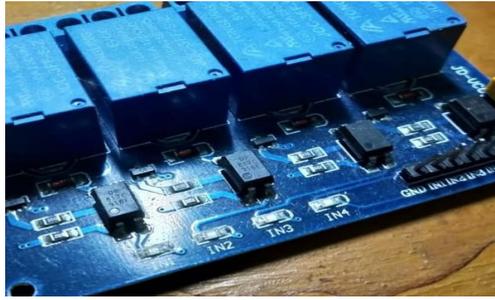
Gambar 7. RTC DS3231

2.7. Relay dan SSR (Solid State Relay)

Relai adalah perangkat elektronik berbentuk sakelar bertenaga listrik dan terdiri dari dua komponen utama: elektromagnet dan mekanis. Relai ini mengoperasikan sakelar menggunakan elektromagnetik, yang memungkinkannya memasok daya tegangan tinggi dengan arus yang sangat kecil [14]. SSR (solid state relay) berbeda dengan relai mekanis, yang menggunakan kumparan, pegas, medan magnet, dan terminal kontak untuk mentransfer listrik. SSR, seperti relai mekanis, memiliki kemampuan untuk memisahkan



input dan output, mirip dengan sakelar dengan resistansi tinggi saat terbuka. Saat terhubung, SSR dapat mengalirkan arus besar dengan resistansi kecil.[15].



Gambar 8. SSR (Solid State Relay)

2.8. Float Sensor

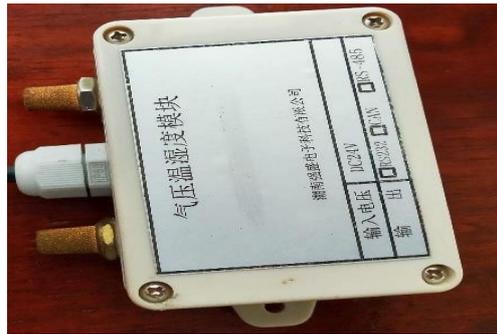
Float sensor mendeteksi ketinggian air pada titik tertentu berdasarkan posisinya. Sensor ini bekerja dengan menempatkan sakelar buluh di dalam batang dan magnet di dalam pelampung yang mengelilingi batang. Ketika air mengangkat pelampung, magnet akan menonaktifkan atau mengaktifkan sakelar buluh. [16]. Untuk bentuknya dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Float Sensor.

2.9. Sensor Suhu dan Kelembapan (Sensor DHT)

Sensor DHT mengukur suhu dan kelembapan ruangan. Gambar 10 dibawah menunjukkan sensor DHT yang mendukung protokol komunikasi RS485 dan RS232. Sensor ini beroperasi pada tegangan 24V DC dan dapat langsung dihubungkan ke PLC.



Gambar 10. Sensor DHT

2.10. PSU (*Power Supply Unit*)

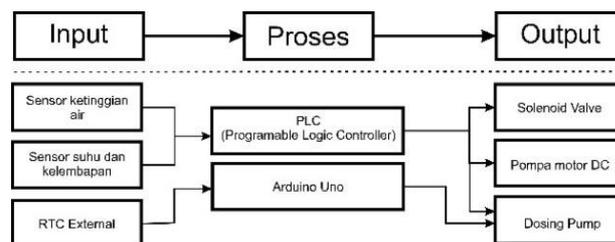
Unit catu daya, atau PSU, adalah perangkat yang menyediakan listrik untuk peralatan listrik. Unit catu daya (PSU) ini pada dasarnya mengambil energi listrik dan kemudian mengubahnya menjadi energi yang dibutuhkan [17]. PSU yang digunakan dalam penelitian ini adalah PSU SIEMENS dengan mengkonversi 220 AC menjadi 24VDC sesuai dengan tegangan yang dibutuhkan oleh PLC. Penelitian ini mengkaji PSU SIEMENS yang mengkonversi 220 AC menjadi 24VDC berdasarkan tegangan yang dibutuhkan oleh PLC.



Gambar 11. PSU Siemens

METODE PENELITIAN

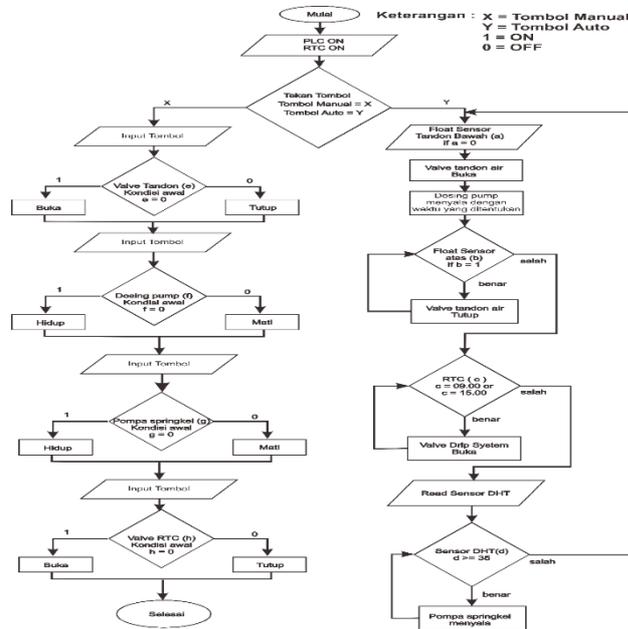
Gambar 12 mengilustrasikan lima tahapan penelitian ini. Pada tahap studi literatur, PT. Indmira mencari informasi dan mengumpulkan data tentang hidroponik, termasuk referensi jurnal dan makalah. Data yang terkumpul dapat digunakan sebagai referensi untuk perancangan dan pembuatan alat. Saya menyertakan beberapa data yang saya gunakan sebagai referensi selama tahap perancangan di lampiran, seperti pemeriksaan komponen dan fungsi. Tahap konstruksi adalah proses pembuatan perangkat keras, baik dari perspektif perangkat keras maupun perangkat lunak (program). Pada tahap ini, sensor dikalibrasi untuk memastikan kesesuaiannya dengan spesifikasi terkini. Selama tahap pengujian, perangkat dipasang dan diuji dalam sistem hidroponik. Pada tahap ini, semua komponen diuji untuk memastikan berfungsi dengan baik. Tahap selanjutnya, yaitu tahap analisis, mencakup analisis perangkat yang telah diimplementasikan dan evaluasi kinerja, akurasi, dan presisinya.



Gambar 12. Diagram Kendali

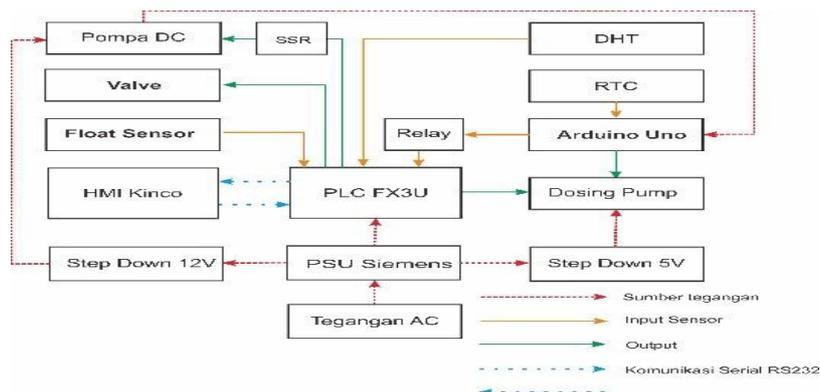


Gambar 13 adalah diagram alir program yang menggambarkan fungsionalitas sistem secara keseluruhan. Dengan demikian, sistem dapat beroperasi dalam dua mode: manual dan otomatis. Mode manual memungkinkan pengguna untuk menambahkan pupuk, mengisi reservoir dengan air, menyalakan pompa sprinkler, dan mengairi sistem tetes hidroponik secara manual.



Gambar 13. Flowchart Sistem

Proses desain dilanjutkan dengan pembuatan diagram pengkabelan untuk menyederhanakan konstruksi perangkat keras. Antarmuka yang digunakan adalah HMI Kinco dengan koneksi serial RS232. Anggota tim lain merancang antarmuka pengguna ini. Grafik di bawah ini menggambarkan diagram pengkabelan yang lebih detail..



Gambar 14. Wiring Diagram Perangkat

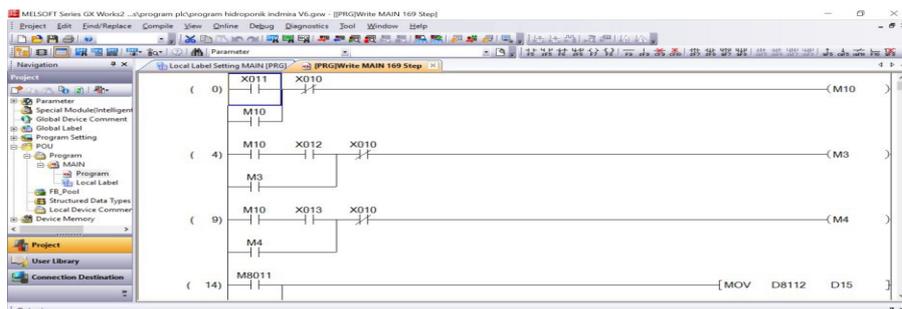
Tabel 1. Inisialisasi Alamat PLC.

No	Input	Inisialisasi Alamat	Output	Inisialisasi Alamat
1	X001	Float tandon bawah	Y010	Pompa sprinkler
2	X002	Float tandon tengah	Y011	Valve tandon
3	X003	Float tandon atas	Y013	Valve RTC



4	X004	Float nutrisi bawah A	Y016	Valve nutrisi A
5	X005	Float nutrisi atas A	Y017	Valve nutrisi B
6	X006	Float nutrisi bawah B		
7	X007	Float nutrisi atas B		
8	X010	tombol OFF PLC		
9	X011	tombol ON PLC		
10	X012	tombol otomatis		
11	X013	tombol manual		
12	X014	RTC		
13	D8112	sensor DHT (Suhu)		
14	D8113	sensor DHT (Kelembapan)		

Tahap pembangunan merupakan tahap akhir dari perancangan sistem, yang mencakup pengembangan perangkat keras dan perangkat lunak. Setelah membangun skema kabel dan mengidentifikasi inisialisasi alamat, pengembangan perangkat keras akan lebih mudah dengan meninjau desain yang sudah ada. Perangkat lunak (program) dapat dibangun menggunakan diagram alir sistem. Program PLC menggunakan diagram ladder, bahasa pemrograman yang umum digunakan pada PLC, dan perangkat lunak yang digunakan adalah GX Works2. Untuk bentuk programnya dapat dilihat pada gambar 3.9 dan keseluruhan programnya ada pada lampiran.



Gambar 15 . Diagram ladder dengan software GX Works2

HASIL DAN ANALISA.

4.1. Implementasi Sistem Kendali Otomatis Berbasis PLC

Sistem kendali otomatis pada greenhouse piggyback berhasil dirancang dan diimplementasikan menggunakan Programmable Logic Controller (PLC) sebagai pusat kendali utama. PLC dikonfigurasi untuk menerima input dari beberapa sensor, antara lain:

- Sensor suhu (thermistor atau DHT22)
- Sensor kelembaban udara
- Sensor kelembaban tanah
- Level sensor air pada reservoir

Output dari PLC mengendalikan aktuatur berupa sistem ventilasi otomatis, lampu LED untuk pencahayaan tambahan, serta indikator status kelembaban tanah dan suhu. Untuk sistem irigasi, karena menggunakan wick system yang bersifat pasif, PLC hanya memantau parameter yang berkaitan untuk memastikan kondisi optimal, seperti menjaga kelembaban tanah dan mengecek ketersediaan air pada reservoir. Tahap pengujian ini dilakukan untuk menentukan kinerja PLC yang digunakan dalam penelitian ini, memastikan PLC tidak mengalami kerusakan atau kegagalan selama eksekusi program. Hasilnya, saat menggunakan Arduino, semuanya berjalan dengan sempurna. Saat menguji program pada PLC menggunakan Ladder, hasil unggahan terlihat. Lingkaran merah pada Gambar 5.1 bertuliskan



"Done Uploading", menunjukkan bahwa perangkat lunak telah ditulis dengan benar dan berhasil dikirimkan ke Ladder.

Pengujian sistem menunjukkan bahwa respons sensor terhadap perubahan suhu dan kelembaban sangat baik, dengan pembacaan data yang konsisten setiap 5 detik (sampling interval). Logika PLC mampu mengambil keputusan untuk mengaktifkan sistem ventilasi jika suhu melebihi 30°C dan mengaktifkan lampu saat intensitas cahaya kurang dari 300 lux.

Dalam kondisi ekstrem (cuaca panas terik atau hujan deras), PLC tetap menjaga kestabilan suhu dan kelembaban dalam greenhouse dengan baik, ditunjukkan oleh data sebagai berikut:

Table 2. Hasil Pengujian Sensor dalam menjaga kelembapan di green house

Hari	Suhu Luar (°C)	Suhu Dalam (°C)	Kelembaban Tanah (%)	Status Air Reservoir
1	32	28	65	Penuh
5	34	30	60	Penuh
10	31	27	50	½ Penuh
14	33	29	45	Hampir Habis

4.2. Kinerja Sistem Irigasi Sumbu (Wick System)

Metode irigasi sumbu terbukti efektif dalam menjaga kelembaban tanah secara stabil. Sistem ini tidak bergantung pada tekanan atau pompa, tetapi memanfaatkan prinsip kapilaritas dari sumbu kain/flanel yang menghubungkan reservoir ke media tanam. Hasil pengamatan selama 14 hari menunjukkan:

- Kelembaban tanah dapat dijaga dalam rentang 40% – 70%, ideal untuk tanaman sayuran seperti selada.
- Tidak terjadi kelebihan air (overwatering), yang umum terjadi pada sistem irigasi konvensional.
- Penggunaan air lebih hemat hingga 35% dibandingkan sistem drip manual, karena air hanya naik ke tanaman saat dibutuhkan.

Uji perkembangan tanaman tomat ceri dilakukan. Kemajuan ini dipantau dengan menempatkan benih di setiap wadah di rumah kaca. Pengamatan dilakukan dengan membandingkan dua skenario: satu dengan sistem otomatis dan satu tanpa sistem otomatis. Sistem pembibitan tanaman dijaga dalam kondisi terkendali, seperti suhu, kelembapan, pH nutrisi dalam wadah hidroponik, dan nilai EC nutrisi yang diberikan. Selain itu, lampu tanam digunakan untuk menggantikan sinar matahari. Namun, penelitian ini tidak berfokus pada lampu tanam. Sementara itu, di pembibitan tomat ceri non-sistemik, tanaman ditanam di tanah tanpa pengaturan suhu atau kelembapan, dan ditempatkan di luar ruangan di bawah sinar matahari langsung. Tabel 2 menunjukkan hasil pengamatan ketinggian tanaman tomat ceri. Tabel 3 menunjukkan hasil pengamatan jumlah daun pada tanaman tomat ceri.

Tabel 3. Hasil Pengamatan Ketinggian Tanaman Tomat Ceri di green house

Minggu ke-	Ketinggian (cm)							
	Sistem				Non Sistem			
	Pot-1	Pot-2	Pot-3	Pot-4	Pot-1	Pot-2	Pot-3	Pot-4
1	2	4	3	3.5	6	7.5	7	8
2	4.5	6	7.5	6.5	6	8	7.3	8
3	6	9.9	9.5	8.5	0	0	0	0



Lisensi

Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0.

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Tabel 4. Hasil Pengamatan Jumlah Daun Tanaman di green house

Minggu ke-	Jumlah daun (lembar)							
	Sistem				Non Sistem			
	Pot-1	Pot-2	Pot-3	Pot-4	Pot-1	Pot-2	Pot-3	Pot-4
1	1	1	1	1	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	5	5	7	10	0	0	0	0

Berdasarkan pengamatan dan pengukuran selama masa uji coba, sistem greenhouse piggyback dengan kendali otomatis berbasis PLC dan metode irigasi sumbu menunjukkan:

- Stabilitas parameter lingkungan yang baik untuk pertumbuhan tanaman.
- Efisiensi energi karena hanya mengaktifkan perangkat (lampu, ventilasi) sesuai kebutuhan.
- Kemudahan pemantauan dan pengendalian, terutama bila dikombinasikan dengan HMI atau modul IoT (pengembangan ke depan).
- Biaya operasional rendah, karena sistem pasif irigasi tidak memerlukan motor/pompa.

4.3. Hasil Pengujian Modul Sensor DHT-22

Modul sensor DHT 22 mendeteksi suhu dan kelembapan di area sekitarnya. Sensor ini dapat menghasilkan dan menampilkan nilai melalui monitor serial atau aktuator LCD. Dalam pengujian ini, PLC menerima program perintah yang membaca modul sensor DHT 22 dan menghitung nilai di area sekitarnya. Pengujian dilakukan dengan membandingkan data pembacaan sensor DHT22 terhadap termometer digital dan hygrometer standar sebagai acuan. Pengujian dilakukan pada ruang uji tertutup (simulasi mini-greenhouse) dalam beberapa kondisi lingkungan:

- Kondisi normal (dalam ruangan)
- Kondisi pemanasan buatan (menggunakan lampu pijar)
- Kondisi pendinginan (menggunakan kipas dan humidifier)

Data dicatat setiap 2 menit selama 30 menit dalam setiap skenario.

Tabel 5. Pengujian Suhu

Waktu (menit)	DHT22 (°C)	Termometer Digital (°C)	Selisih
0	27.1	27.0	+0.1
5	29.0	28.8	+0.2
10	30.2	30.0	+0.2
15	32.0	31.7	+0.3
20	33.5	33.2	+0.3
25	34.0	33.7	+0.3



Waktu (menit)	DHT22 (°C)	Termometer Digital (°C)	Selisih
30	35.0	34.6	+0.4

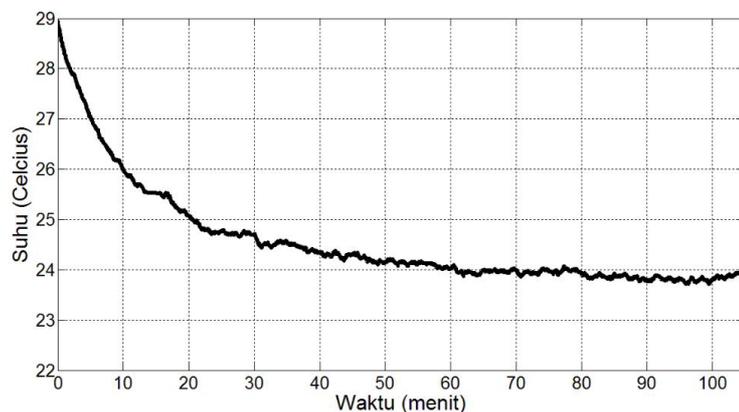
Table 6. Pengujian Kelembaban

Waktu (menit)	DHT22 (%)	Hygrometer (%)	Selisih
0	72	74	-2
5	68	69	-1
10	65	66	-1
15	63	63	0
20	60	61	-1
25	58	59	-1
30	55	56	-1

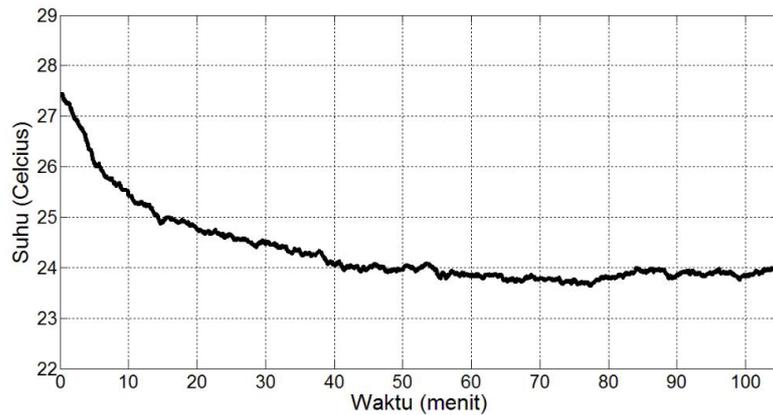
- Akurasi suhu: Sensor DHT22 menunjukkan rata-rata selisih $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ hingga $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$, masih dalam batas toleransi spesifikasi teknisnya.
- Akurasi kelembaban: Selisih kelembaban rata-rata berkisar $\pm 1\%$ hingga $\pm 2\%$, juga masih dalam batas wajar.

4.4. Hasil Pengujian Aktuator Pengkondisi Suhu Udara

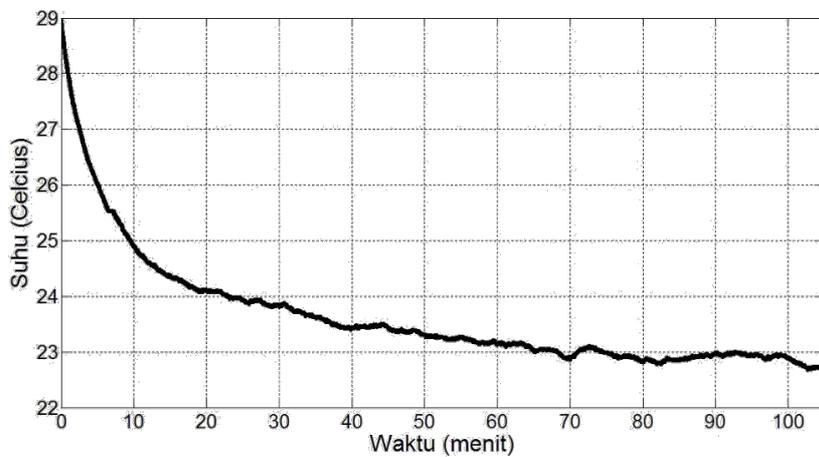
Dalam pengujian ini, kipas mengatur suhu di dalam ruang lingkup otomatisasi melalui kendali jarak jauh inframerah, dan sensor SHT11 membaca suhu keluaran. Pengujian aktuator ini bertujuan untuk menentukan seberapa baik AC beroperasi dan keluaran sistem dalam mencapai titik setel yang diinginkan, memastikan bahwa keluaran yang dihasilkan memenuhi tuntutan dan tujuan penelitian. Dalam penelitian ini, titik setel target adalah 24°C , yang sesuai dengan kebutuhan suhu tomat ceri. Dalam studi ini, kinerja aktuator diuji dalam dua kondisi: tanpa PID dan dengan perangkat lunak kontrol PID. Aktuator AC diuji selama 105 menit dengan nilai titik setel $^{\circ}\text{C}$ yang diberikan oleh sensor *infra red*. Gambar 5.5-5.8 menunjukkan data dan grafik yang dihasilkan.



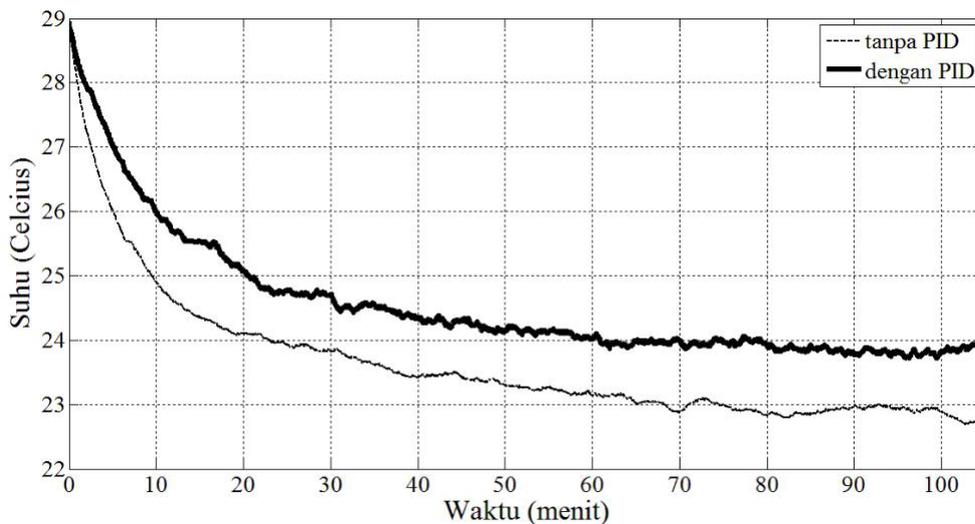
Gambar 16. Hasil Pengendalian Suhu dengan PID pada Siang Hari



Gambar 17. Hasil Pengendalian Suhu dengan PID pada Malam



Gambar 18. Hasil Pengendalian Suhu tanpa PID pada Siang Hari



Gambar 19. Grafik Perbandingan Hasil Pengendalian Suhu

Gambar 19 menggambarkan respons sistem ketika aktuator menggunakan PID untuk kontrol suhu, non PID. Grafik dengan penerapan sistem PID dapat mencapai dan mempertahankan titik setel 24°C, yang merupakan suhu normal untuk produksi tomat ceri (A. Yamin, 2012). Grafik tanpa sistem PID menunjukkan bahwa kontrol untuk mencapai set poin kurang bagus karena, setelah mencapai set



point, suhu terus turun hingga 105 menit dan tidak dapat kembali ke *settling time* yang diinginkan. Tanpa pengontrol PID, sistem tidak dapat mempertahankan suhu sehingga tidak memiliki waktu penyelesaian. Sistem non PID memiliki *rise time* yang lebih cepat tetapi menghasilkan *overshoot* yang lebih tinggi. Hal ini berbeda dengan kinerja sistem kendali suhu menggunakan pengontrol PID, yang menghasilkan hasil yang lebih baik. Kinerja kedua sistem disajikan pada Tabel 8.

Tabel 9. Unjuk Kerja Kendali Suhu

Sistem	Rise Time	Overshoot	Settling Time
Dengan PID	60 menit	1,17 %	57 menit
Tanpa PID	23 menit	5,5 %	-

KESIMPULAN.

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem kendali otomatis pada greenhouse piggyback berbasis PLC dengan metode irigasi sumbu (wick system) dapat bekerja secara efektif dan efisien dalam mengelola kebutuhan air tanaman secara mandiri. Sistem berhasil menjaga kelembaban tanah dalam batas optimal (60–80%) melalui pembacaan sensor kelembaban tanah yang akurat, serta mengatur pompa air secara otomatis dengan respons waktu rata-rata 3 detik. Penggunaan PLC memberikan fleksibilitas dalam pemrograman logika kendali, memungkinkan integrasi dengan sensor suhu dan intensitas cahaya untuk mendukung pengambilan keputusan yang lebih adaptif terhadap kondisi lingkungan. Selain itu, metode irigasi sumbu terbukti hemat energi dan minim intervensi manual, menjadikannya solusi ideal untuk pertanian skala kecil di area terbatas seperti urban farming. Secara keseluruhan, sistem ini mampu meningkatkan efisiensi pemanfaatan air, mengurangi beban kerja manual, serta mendukung implementasi pertanian presisi berbasis teknologi otomatisasi. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi rujukan dalam pengembangan sistem kendali cerdas untuk greenhouse di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Ahmad, A., Zondra, E., & Yuvendus, H. (2020). Analisis Efisiensi Motor Induksi Tiga Fasa Akibat Perubahan Tegangan. *SainETIn: Jurnal Sains, Energi, Teknologi, dan Industri*, 5(1), 35-43.
- [2]. Amzat, K. (2024). *ANALISA PERFORMA MOTOR INDUKSI JENIS ROTOR SANGKAR* (Doctoral dissertation, ITN Malang).
- [3]. Chapman, S. J. (2020). *Electric Machinery Fundamentals* (6th ed.). McGraw-Hill.
- [4]. Hakim, A. R., Sartika, L., & Prasetya, A. M. (2024). Analisis Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Putaran Dan Daya Masuk Motor Induksi 3 Fasa Rotor Belitan.
- [5]. Hughes, A., & Drury, B. (2022). *Electric Motors and Drives: Fundamentals, Types, and Applications* (5th ed.). Elsevier.
- [6]. Purnomo, H. (2019). Analisis Pengaruh Penempatan dan Perubahan Kapasitor Terhadap Unjuk Kerja Motor Induksi 3-Fasa Bercatu 1-Fasa. *Jurnal EECCIS (Electrics, Electronics, Communications, Controls, Informatics, Systems)*, 3(2), 27-40.
- [7]. Rashid, M. H. (2019). *Power Electronics Handbook* (4th ed.). Academic Press.
- [8]. Saputro, M. B. A. (2024). Analisa Pengaruh Beban Lebih Terhadap Efisiensi Dan Torsi Pada Motor Induksi 3 Fasa.
- [9]. Sutisna, U. (2019). Analisis Pengaruh Perubahan Tegangan Terhadap Torsi Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Simulasi Matlab. *Iteks*, 10(1).



Lisensi

Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0.