

Sistem Kendali Mikrokontroler Berbasis Atmega2560 Menggunakan Pendekatan Artificial Neural Network (Ann) Untuk Budidaya Cabai Merah Aeroponik

Fivit Marwita^{1*}; M. Fadhli Abdillah²; Harry Toding K³

^{1,2,3}Program studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Institut Sains dan Teknologi Nasional
e-mail: pipitsalman@istn.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem kendali budidaya tanaman cabai merah secara aeroponik berbasis mikrokontroler ATmega2560. Sistem ini mengontrol tiga variabel masukan utama yaitu level air (u_1), dosis nutrisi (u_2), dan penyiraman akar (u_3) untuk menghasilkan tiga variabel keluaran yaitu tinggi cairan (y_1), kadar nutrisi (y_2), dan kelembapan akar (y_3). Seluruh komponen sensor dan aktuator telah terintegrasi dan bekerja secara otomatis serta real-time tanpa intervensi manual. Untuk meningkatkan akurasi pengendalian, diterapkan model Artificial Neural Network (ANN) dalam memodelkan hubungan input-output sistem. Evaluasi terhadap 23 sampel data menunjukkan performa model ANN yang baik, dengan nilai MAE sebesar 2.19, MSE 11.82, dan RMSE 3.44. Analisis statistik per output menunjukkan bahwa sistem mampu mengendalikan y_1 dan y_2 dengan tingkat kesalahan rendah, masing-masing MAE < 1 dan < 0.5 , serta RMSE < 1 . Namun, pada output y_3 (kelembapan akar), kesalahan relatif tinggi (MAE 4.99 dan RMSE 5.83), mengindikasikan perlunya evaluasi ulang strategi kendali. Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan mampu meningkatkan efisiensi dan akurasi budidaya aeroponik cabai merah, meskipun diperlukan penyempurnaan lebih lanjut untuk parameter kelembapan akar.

Kata kunci: Artificial Neural Network (ANN), Mikrokontroler ATmega 2560, Sensor, Aeroponik.

Abstract

This research aims to design and implement an aeroponic red chilli cultivation control system based on ATmega2560 microcontroller. The system controls three main input variables: water level (u_1), nutrient dosage (u_2), and root watering (u_3) to produce three output variables: liquid height (y_1), nutrient content (y_2), and root moisture (y_3). All sensor and actuator components have been integrated and work automatically and in real-time without manual intervention. To improve control accuracy, an Artificial Neural Network (ANN) model was applied to model the system input-output relationship. Evaluation of 23 data samples showed good performance of the ANN model, with MAE of 2.19, MSE of 11.82, and RMSE of 3.44. Statistical analysis per output showed that the system was able to control y_1 and y_2 with low error, MAE < 1 and < 0.5 , respectively, and RMSE < 1 . However, at output y_3 (root moisture), the error was relatively high (MAE 4.99 and RMSE 5.83), indicating the need to re-evaluate the control strategy. Overall, the developed system is able to improve the efficiency and accuracy of red chilli aeroponic cultivation, although further improvement is needed for the root moisture parameter.

Keywords: Artificial Neural Network (ANN), ATmega 2560 microcontroller, Sensor, Aeroponic.

1. PENDAHULUAN

Cabai merah (*Capsicum annuum* L.) merupakan komoditas hortikultura yang memiliki nilai ekonomi tinggi di Indonesia. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (2023), produksi cabai merah mengalami peningkatan rata-rata 6,9% per tahun. Namun, budidaya konvensional seringkali menghadapi kendala seperti serangan hama, ketidaktepatan pemberian nutrisi, dan fluktuasi kualitas air.

Aeroponik merupakan salah satu solusi inovatif dalam budidaya tanaman tanpa tanah, di mana akar tanaman digantung di udara dan disemprot dengan kabut nutrisi secara berkala. Metode ini memungkinkan penyerapan nutrisi dan oksigen yang lebih optimal, sehingga pertumbuhan tanaman menjadi lebih cepat dan efisien. [23]

Penelitian ini mengusulkan sistem kendali otomatis berbasis mikrokontroler ATmega2560 yang dilengkapi dengan berbagai sensor dan aktuator. Artificial Neural Network (ANN) digunakan untuk memodelkan hubungan antara input dan output sistem guna meningkatkan akurasi kontrol.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Aeroponik

Aeroponik merupakan salah satu teknik budidaya tanaman modern dalam sistem pertanian tanpa tanah (soilless culture), di mana akar tanaman ditumbuhkan dalam udara terbuka dan secara berkala disemprotkan dengan larutan nutrisi dalam bentuk kabut (aerosol)[27].

Tidak seperti metode hidroponik yang merendam akar dalam larutan, sistem aeroponik memberikan nutrisi dan air secara langsung ke permukaan akar melalui semprotan halus yang diatur secara berkala oleh sistem otomatis.

Karena akarnya tergantung di udara dan hanya menerima kabut nutrisi, sistem ini sangat cocok untuk lingkungan terkontrol.

2.2 Tanaman Cabai

Penerapan sistem aeroponik pada budidaya cabai merah dimungkinkan karena karakter fisiologis tanaman ini yang responsif terhadap ketersediaan oksigen dan nutrisi pada zona akar.

Dalam sistem aeroponik, akar cabai merah dibiarkan menggantung di udara dan secara berkala disemprotkan larutan nutrisi berbentuk kabut.

Dibandingkan dengan tanaman hortikultura lainnya seperti selada atau bayam yang lazim ditanam secara aeroponik, cabai merah memiliki keunggulan tersendiri dari segi nilai jual, umur panen yang lebih panjang, serta adaptasi terhadap kondisi lingkungan yang lebih luas.

Selain itu, cabai merah membutuhkan kontrol nutrisi dan kelembapan akar yang lebih presisi, sehingga penerapan sistem aeroponik yang dikendalikan secara otomatis sangat sesuai untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas produksi.

Dengan sistem ini, produktivitas cabai dapat ditingkatkan secara signifikan, sekaligus mengurangi konsumsi air dan risiko serangan penyakit dari media tanam.

2.3 Sistem Kontrol

Sistem kontrol (*control system*) adalah kumpulan metode yang dilihat dan dipelajari dari kebiasaan manusia dalam melakukan suatu pekerjaan yang disempurnakan untuk menghasilkan *output* yang baik (Friadi & Junadhi, 2019). Sistem ini memiliki kelebihan untuk membantu pekerjaan manusia dengan memberikan tingkat kesalahan yang sangat rendah dalam pekerjaan yang beresiko tinggi [32]. Sistem kontrol pada umumnya dibagi menjadi dua, yaitu sistem kontrol loop terbuka dan sistem kontrol loop tertutup.

2.4 Artificial Neural Network (ANN)

ANN terdiri dari sejumlah unit pemroses sederhana yang disebut neuron, yang tersusun dalam beberapa lapisan, yaitu input layer, hidden layer, dan output layer.

Dalam prosesnya, data input dimasukkan melalui input layer, diproses di hidden layer dengan bantuan fungsi aktivasi seperti ReLU atau sigmoid, lalu menghasilkan output prediksi. Model ANN dilatih menggunakan data historis input-output agar dapat menghasilkan prediksi yang mendekati data aktual.

2.5 Deviasi

Deviasi adalah selisih antara nilai suatu data dengan rata-rata keseluruhan. Deviasi digunakan untuk mengetahui sejauh mana suatu nilai menyimpang dari kondisi normal (mean).

$$\text{Deviasi} = x_i - \bar{x} \quad (2.1)$$

Keterangan:

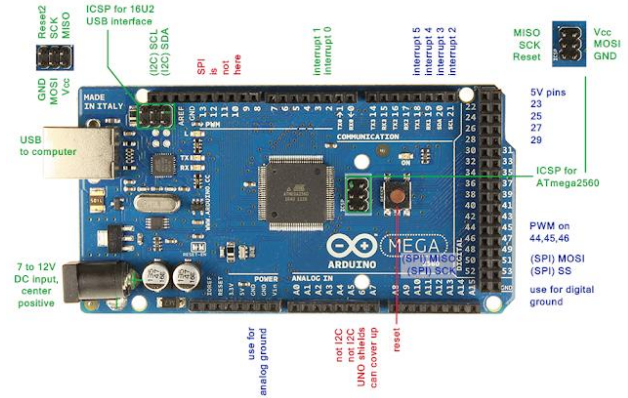
x_i : nilai aktual

$\bar{x}$: nilai rata-rata seluruh data

Nilai deviasi dapat bernilai positif (di atas rata-rata) atau negatif (di bawah rata-rata).

2.6 Mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan sebuah specialpurpose computer atau juga disebut dengan komputer kecil yang digunakan dalam melakukan suatu program. Selain itu mikrokontroler banyak digunakan pada peralatan elektronik canggih seperti tv, mesin cuci otomatis dan remot. Mikrokontroler juga banyak digunakan dalam dunia industri sebagai pengontrol mesin, robot dan perangkat pengolahan data.



Gambar 2. / Mikrokontroler ATmega 2560 pin out

2.7 Sensor

Menurut kamus besar bahasa Indonesia (KBBI), pengertian sensor adalah suatu perangkat yang dapat mendeteksi kemungkinan terjadinya perubahan pada besaran fisik yakni berupa gaya, tekanan, gerakan, cahaya, suhu, kelembaban, kecepatan, besaran listrik, dan fenomena yang lain. Jadi pengertian sensor adalah sebuah perangkat elektronik yang digunakan untuk mendeteksi dan mengukur suatu fenomena atau kondisi disekitarnya, seperti suhu, tekanan, cahaya, gerakan, dan lain-lain. Sistem sensor berfungsi sebagai pengubah energi dari suatu jenis fisik atau kimia menjadi sinyal listrik yang dapat diproses oleh komputer atau sistem kontrol. Sensor dibuat dengan berbagai teknologi, seperti optik, magnetik, akustik, atau elektromagnetik, tergantung pada jenis fenomena yang akan dideteksi.

2.8 MODUL RTC (Real Time Clock)

Real Time Clock DS 1307 merupakan salah satu jenis IC (Integrated Circuit) yang bekerja sebagai pewaktu, DS1307 dapat menyimpan jam, menit, detik, tanggal, bulan dan tahun. Real Time Clock RTC (Real time clock) adalah jam elektronik berupa chip yang dapat menghitung waktu (mulai detik hingga tahun) dengan akurat dan menjaga serta menyimpan data waktu tersebut secara real time. Karena jam tersebut bekerja secara real time, maka setelah proses hitung waktu dilakukan output datanya langsung disimpan atau dikirim ke device lain melalui sistem antarmuka. Semua komputer menggunakan RTC karena berfungsi menyimpan informasi jam terkini dari komputer yang bersangkutan. RTC dilengkapi dengan

baterai sebagai pemasok daya pada chip, sehingga jam akan tetap up-to-date walaupun komputer dimatikan. RTC dinilai cukup akurat sebagai pewaktu (timer) karena menggunakan osilator Kristal.



Gambar 2. 2 RTC (Real Time Clock)

2.9 Aktuator

Aktuator adalah perangkat atau sistem yang bertanggung jawab untuk mengubah energi atau sinyal kontrol menjadi gerakan atau aksi fisik. Aktuator bertindak sebagai komponen yang menggerakkan atau mengendalikan suatu mekanisme, mesin, atau sistem dalam rangka mencapai tujuan yang diinginkan. Aktuator dapat menggunakan energi listrik, hidrolik, pneumatik, atau mekanik untuk menghasilkan gerakan yang diinginkan.



Gambar 2. 3 Motor DC (Direct Current)

3. PERANCANGAN

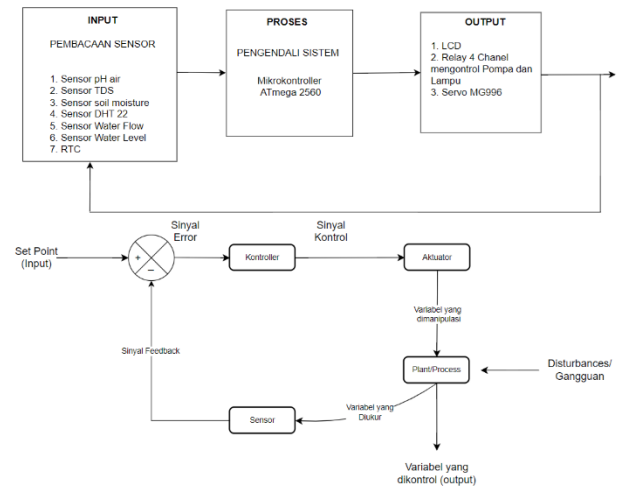
Pada bagian pembahasan kali ini akan dijelaskan tentang langkah-langkah dan bagaimana cara merancang alat dari sistem kendali untuk digunakan dalam pembudidayaan tanaman cabai merah dengan menggunakan metode tanam aeroponik yang sudah dijelaskan sebelumnya.

Perancangan perangkat keras ini meliputi sistem minimum dari mikrokontroler ATmega 2560 yang akan dijadikan sebagai pusat pengendali output dan input pada sistem ini. Sedangkan untuk sistem minimum itu dibagi menjadi 2 yaitu daya 12V dan catu daya adjustable (Step Down LM2596)[5].

3.1 Rancangan Prinsip Kerja

Yaitu penyiraman akar dengan air nutrisi, penyiraman daun dan batang dengan air segar, penyemprotan pestisida, penambahan nutrisi kedalam air distribusi yang sesuai dengan umur tanaman, pengisian air distribusi. Misalnya, proses penambahan nutrisi dipicu oleh gabungan kondisi TDS rendah, pH dalam rentang ideal, dan usia tanaman, namun hal ini juga akan berdampak pada proses penyiraman akar yang menggunakan air bercampur nutrisi tersebut.

Dengan demikian, penekanan sistem kontrol ini adalah bagaimana mengelola interaksi antar variabel input dan output dalam skema MIMO, untuk mencapai efisiensi pemakaian air, nutrisi, dan pestisida secara optimal sesuai kebutuhan pertumbuhan tanaman cabai merah.



Gambar 3. 1 Diagram Blok Rancangan Sistem Pengendali

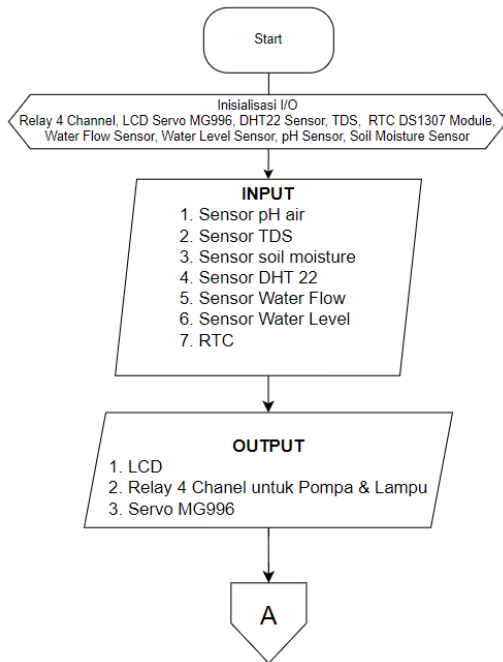
Perancangan sistem pengendali dapat dijelaskan sebagai berikut, Input berupa pembacaan berbagai sensor lingkungan dan nutrisi tanaman digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan oleh sistem.

Mikrokontroler ATmega 2560 berperan sebagai pengendali sistem yang telah diprogram untuk melakukan pengolahan logika kontrol terhadap semua parameter lingkungan secara simultan.

Berdasarkan hasil pengolahan data tersebut, mikrokontroler ATmega 2560 menghasilkan sinyal kontrol untuk mengaktifkan aktuator yang terdiri dari pompa, lampu, melalui modul relay 4 channel, serta beberapa motor servo MG996.

Proses ini dilakukan secara otomatis sesuai dengan kondisi yang dibaca dari sensor dan aturan logika kontrol yang telah diprogram sebelumnya. Sistem ini juga dilengkapi dengan LCD 20x4 yang berfungsi untuk menampilkan informasi real-time mengenai status sistem, seperti data sensor, aktivitas aktuator, dan umur tanaman.

Untuk pengontrolan fisik seperti membuka dan menutup valve, digunakan motor servo MG996 yang dikendalikan oleh mikrokontroler.

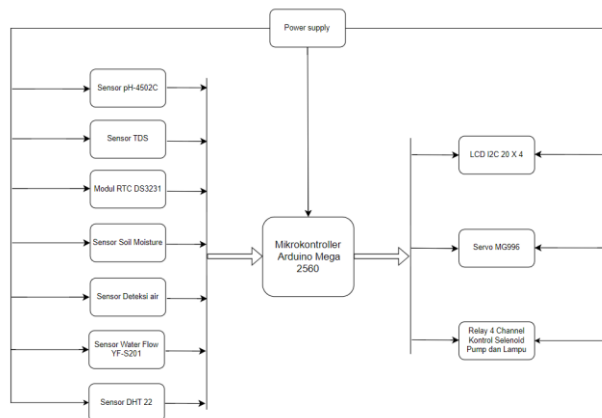


Gambar 3. 2 Flowchart inisialisasi I/O

3.2 Diagram Blok Alat

Sistem ini terdiri dari beberapa komponen sensor yang digunakan untuk memantau kondisi lingkungan seperti pH, kadar nutrisi, kelembapan akar, suhu dan kelembapan udara, level air, aliran air dan pemantauan secara real-time oleh RTC serta aktuator (seperti servo dan relay) yang mengatur penyiraman, penambahan nutrisi, dan pencahayaan.

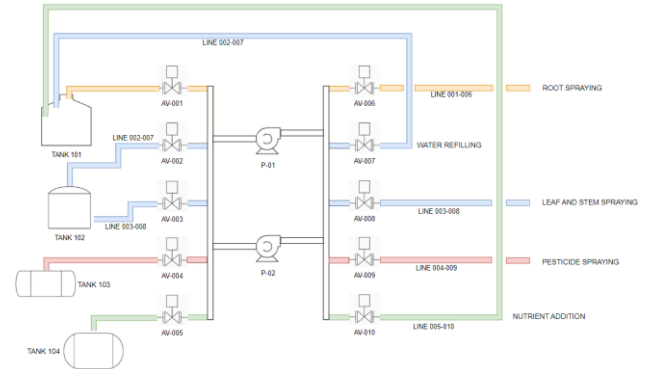
Semua data dari sensor diproses oleh mikrokontroler, yang kemudian mengeluarkan perintah ke aktuator sesuai logika kontrol yang telah diprogram.



Gambar 3. 3 Blok Diagram Alat

3.3 Perancangan Diagram P&ID Sistem

Gambar 3.4 merupakan **P&ID (Piping and Instrumentation Diagram)** dari sistem aeroponik yang menunjukkan alur kontrol cairan dan penyemprotan berdasarkan berbagai kebutuhan tanaman. Sistem ini dikendalikan oleh dua pompa (P-01 dan P-02), beberapa tangki sumber cairan, katup aktuator (AV-001 hingga AV-010), dan jalur pipa khusus untuk tiap fungsi proses seperti penyemprotan akar, pengisian air, penyemprotan daun/batang, penyemprotan pestisida, dan penambahan nutrisi [6].



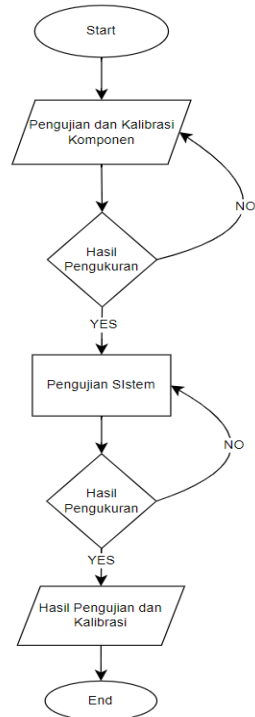
Gambar 3. 4 Diagram P&ID Sistem

3.4 Perancangan Perangkat Keras

Langkah awal dalam perancangan ini adalah menentukan kebutuhan sistem secara menyeluruh, termasuk jenis sensor yang digunakan (seperti sensor suhu, kelembapan, pH, dan TDS), serta aktuator seperti servo motor dan relay untuk mengontrol pompa atau valve. Setelah kebutuhan ditentukan, dilakukan pemilihan komponen yang sesuai dengan spesifikasi teknis dan kompatibilitas terhadap mikrokontroler yang digunakan. Selanjutnya, dilakukan proses penyusunan skematik rangkaian, di mana setiap komponen dihubungkan sesuai dengan jalur data, sinyal, dan daya yang dibutuhkan. Penempatan pin, penggunaan proteksi seperti resistor pull-up/down, serta penyediaan catu daya yang stabil dan sesuai menjadi aspek penting untuk menjamin keamanan sistem.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan secara bertahap, dimulai dari pengujian masing-masing sensor dan aktuator, hingga pengujian integrasi sistem secara menyeluruh yang dapat dilihat pada flowchart dibawah ini



Gambar 4.1 Flowchart Pengujian & Pengukuran

4.1 Pengujian Catu Daya

Pengujian catu daya dilakukan untuk memastikan bahwa sumber daya listrik yang digunakan mampu memberikan tegangan dan arus yang stabil sesuai kebutuhan masing-masing komponen sistem.

Tabel 4. 1 Pengujian Catu Daya 12V 30A Tanpa Beban

Pengukuran Tanpa Beban				
Pengujian Ke-	V-Out Aktual	Hasil Pengukuran	Selisih	Error (%)
1	12 V	12.15 V	0.15 V	1.25 %
2	12 V	12.15 V	0.15 V	1.25 %
3	12 V	12.16 V	0.16 V	1.33 %
4	12 V	12.15 V	0.15 V	1.25 %
5	12 V	12.15 V	0.15 V	1.25 %
6	12 V	12.15 V	0.15 V	1.25 %
7	12 V	12.16 V	0.16 V	1.33 %
8	12 V	12.15 V	0.15 V	1.25 %
9	12 V	12.15 V	0.15 V	1.25 %
Rata-Rata:		12.15 V	0.15 V	1.26 %

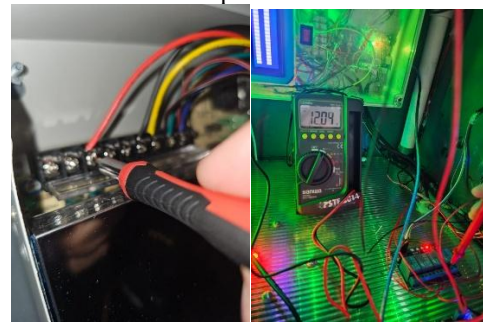
Tabel 4. 2 Pengujian Catu Daya 12V 30A Dengan Beban

Pengukuran Dengan Beban				
Pengujian Ke-	V-Out Aktual	Hasil Pengukuran	Selisih	Error (%)

1	12 V	12.10 V	0.15 V	1.25 %
2	12 V	12.10 V	0.10 V	1.25 %
3	12 V	12.11 V	0.11 V	1.33 %
4	12 V	12.10 V	0.10 V	1.25 %
5	12 V	12.10 V	0.10 V	1.25 %
6	12 V	12.09 V	0.10 V	1.25 %
7	12 V	12.10 V	0.11 V	1.33 %
8	12 V	12.11 V	0.10 V	1.25 %
9	12 V	12.10 V	0.10 V	1.25 %
Rata-Rata:		12.10 V	0.10 V	1.26 %



Gambar 4. 1 Hasil Pengukuran Catu Daya 12V 30A Tanpa Beban



Gambar 4. 1 Hasil Pengukuran Catu Daya 12V 30A Dengan Beban

4.2 Pengukuran Relay

Pengujian dilakukan pada modul relay 4 channel yang digunakan untuk mengontrol aktuator berupa pompa dan lampu dalam sistem.

Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan tegangan yang terjadi dan memastikan bahwa masing-masing kanal relay merespons sinyal logika dari mikrokontroler dengan benar.

Tabel 4. 3 Pengujian Chanel Relay Kondisi Aktif

Pengujian ke-	1	2	3	4	5	6	Rata-Rata
On R1	4.99 V	4.99 V	4.99 V	4.99 V	4.98 V	4.98 V	4.98 V
On R2	4.99 V	4.98 V	4.99 V	4.99 V	4.98 V	4.99 V	4.98 V
On R3	4.99 V	4.98 V	4.99 V	4.99 V	4.99 V	4.98 V	4.98 V

On	R4	4.98	4.99	4.98	4.98	4.98	4.99	4.98
		V	V	V	V	V	V	V

Tabel 4. 4 Pengujian Chanel Relay Kondisi Tidak Aktif

Pengujian ke-		1	2	3	4	5	Rata-Rata
Off	R1	5.00 V	5.00 V	5.00 V	5.00 V	5.00 V	5.00 V
Off	R2	5.00 V	5.00 V	5.00 V	5.00 V	5.00 V	5.00 V
Off	R3	5.00 V	5.00 V	5.00 V	5.00 V	5.00 V	5.00 V
Off	R4	5.00 V	5.00 V	5.00 V	5.00 V	5.00 V	5.00 V

4.3 Pengujian pada Sensor pH-4502C

Proses ini melibatkan pengambilan beberapa sampel larutan dengan nilai pH yang diketahui (sebagai referensi), diikuti dengan pencatatan nilai ADC dan tegangan keluaran sensor.

Hasil pengukuran ini kemudian dianalisis menggunakan pendekatan regresi linier untuk mendapatkan konstanta kemiringan (m) dan bias (b) dalam persamaan umum: ($pH = m \times \text{Tegangan} + b$)

Tabel 4. 5 Evaluasi Rumus Kalibrasi Sensor pH-4502C dengan pH Aktual

pH Aktual	Nilai ADC	Tegangan	Float M Kalibrasi	Float B Kalibrasi	Hasil Pembacaan
pH 5.69	721	3.50 V	-3.900	19.200	pH 5.40
pH 5.69	732	3.60 V	-3.870	19.100	pH 5.24
pH 5.69	717	3.52 V	-3.850	19.000	pH 5.51
pH 5.69	723	3.53 V	-3.800	18.900	pH 5.49
pH 5.69	718	3.51 V	-3.826	18.985	pH 5.56

Pengujian dilakukan dengan menggunakan larutan uji yang memiliki nilai pH aktual sebesar 5.69. Sensor pH-4502C dihubungkan ke mikrokontroler untuk membaca nilai ADC dan dikonversi ke tegangan. Beberapa variasi rumus kalibrasi diuji dengan mengganti nilai kemiringan (float m) dan bias (float b) dalam persamaan linear $pH = m \times \text{Tegangan} + b$ (Pratama et al., 2022). Dari lima sampel data yang dikumpulkan, terlihat bahwa rumus dengan nilai $m = -3.826$ dan $b = 18.985$ menghasilkan nilai pembacaan pH sebesar 5.56, yang merupakan nilai paling mendekati terhadap pH aktual 5.69. Rumus ini menghasilkan error terkecil dibandingkan variasi lainnya, dengan perbedaan hanya sebesar 0.13 poin pH. Oleh karena itu, rumus float $m = -3.826$ dan float $b = 18.985$ dipilih sebagai rumus kalibrasi akhir untuk sensor pH-4502C dalam sistem, karena mampu memberikan pembacaan yang paling akurat terhadap nilai referensi standar. Berikut perhitungannya:

1. Nilai ADC atau sensor Value = 718
2. Kalibrasi $m = -3.826$, $b = 18.985$

3. Tegangan = 3.51 V
4. $pH = -3.826 \times 3.51 + 18.985 \approx -13.43726 + 18.985 \approx 5.56$

5. KESIMPULAN (10 PT)

1. Perancangan dan Implementasi Sistem
Sistem Kendali Budidaya Tanaman Cabai Merah Aeroponik berbasis mikrokontroler ATmega2560 telah berhasil direalisasikan. Pengujian membuktikan bahwa sistem berjalan stabil dan mampu mengeksekusi perintah dengan tingkat kesalahan yang kecil.
2. Efisiensi dan Kinerja Monitoring
Sistem terbukti dapat mengurangi intervensi manual, mempercepat proses pemeliharaan, serta memberikan kemudahan pemantauan melalui tampilan LCD I2C. Hal ini secara langsung meningkatkan efisiensi dan akurasi pengendalian budidaya tanaman.
3. Penggunaan Artificial Neural Network (ANN)
Hasil prediksi model ANN terhadap semua output menunjukkan performa yang baik, dengan hasil evaluasi sebagai berikut:
Mean Absolute Error (MAE): 2.19
Mean Squared Error (MSE): 11.82
Root Mean Squared Error (RMSE): 3.44
Nilai ini menandakan bahwa model ANN mampu mempelajari pola input-output sistem secara akurat dan efisien.
4. Kesimpulan Umum Evaluasi Sistem
Secara keseluruhan, sistem kendali yang dirancang telah mampu memberikan output yang akurat dan responsif, khususnya pada y_1 dan y_2 . Namun, untuk output y_3 , diperlukan pengkajian ulang atau penyesuaian strategi kendali, baik dari segi penalaan parameter maupun penambahan sensor pendukung, guna meningkatkan kestabilan dan akurasi sistem terhadap kelembapan akar.

DAFTAR PUSTAKA (10 PT)

- [1] Adhiwibowo, W., Daru, A. F., & Hirzan, A. M. (2020). Temperature and Humidity Monitoring Using DHT22 Sensor and Cayenne API. Jurnal Transformatika, 17(2).
<https://doi.org/10.26623/transformatika.v17i2.1820>
- [2] Agus Sofwan I, M Ikrar Yamin2, Budi Santoso3, "SISTEM PENGENDALIAN KESTABILAN PESAWAT TANPA AWAK BERBASIS KONTROL PID", Sinusoida Vol: XXV No.1, Juli 2023, p-ISSN 1411-4593, e-ISSN 2722-0222,
<https://doi.org/10.37277/s.v25i1.1669>.
- [3] Andani, R., Rahmawati, M., & Hayati, M. (2020). Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Cabai (Capsicum

- annuum L.) Akibat Perbedaan Jenis Media Tanam dan Varietas Secara Hidroponik Substrat Growth and yield of paper (Capsicum annum L.) due to differences in the type of planting media and varieties in hydroponic substrates. JFP Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian, 5(2).
www.jim.unsyiah.ac.id/JFP
- [4] Ardiansyah, M. A., Gede Wiryawan, I., Choirunnisa, S., Krismiratsih, F., & Kunci, K. (n.d.). Penerapan Metode Fuzzy Logic pada Penentuan Kualitas Nutrisi Air dari Tanaman Hidroponik. Jurnal Telekomunikasi Dan Komputer, 13(3), 196–208.
<https://doi.org/10.22441/incomtech.v13i3.18035>
- [5] Asniati, Hasiri, M. E., & Yanti, R. (2019). SISTEM KONTROL OTOMATIS PENYIRAMAN TANAMAN DENGAN METODE BUDIDAYA TANAMAN SISTEM AEROPONIK MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER ATMEGA 2560. SISTEM KONTROL OTOMATIS PENYIRAMAN TANAMAN DENGAN METODE BUDIDAYA TANAMAN SISTEM AEROPONIK MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER ATMEGA 2560, 8, 38–44.
- [6] Ayubi, M. S. Al, Dzulkiflih, & Rahmawati, E. (2022). Perancangan dan Penerapan Aparatus Pengukuran Debit Air dengan Menggunakan Venturimeter dan Water Flow Sensor. Jurnal Inovasi Fisika Indonesia, 04(2).
- [7] badan pusat statistik Indonesia. (2023). Produksi Tanaman Sayuran, 2021–2023.
- [8] Chuzaini, F., & Dzulkiflih. (2022). IoT Monitoring Kualitas Air dengan Menggunakan Sensor Suhu , pH , dan Total Dissolved Solids (TDS). Jurnal Inovasi Fisika Indonesia, 11(3).
- [9] Dimas, S., & Jaya, P. (2023). Jurnal Vocational Teknik Elektronika dan Informatika. Jurnal Vocational Teknik Elektronika Dan Informatika, 11(1).
- [10] Edy Spriyadi, Ariman, Arif Ardiyanto, “ALAT PENGUKUR SUHU BERBASIS ARDUINO MENGGUNAKAN SENSOR INFRAMERAH DAN ALARM PENDETEKSI SUHU TUBUH DIATAS NORMAL”, Sinusoida Vol. XXIII No. 1, Juli 2021 p-ISSN 1411 - 4593, e-ISSN 2722 – 0222, <https://doi.org/10.37277/s.v23i1.1016>
- [11] Electrical4U. (2020a). Control System | Closed Loop Open Loop Control System | Electrical4U. <https://www.electrical4u.com/>.
- [12] Electrical4U. (2020b). What is a Control System? (Open Loop & Closed Loop Control Systems Explained). <https://www.electrical4u.com/>.
- [13] Elektronika, L. (2017). Arduino Mega 2560 Mikrokontroller ATmega2560. Labelektronika.Com.
- [14] Febriansyah M, “SISTEM KENDALI DAN MONITORING KONDISI RUANGAN UNTUK PENDERITA SLEEP APNEA BERBASIS IOT”, Sinusoida Vol.XXVI, Desember 2024. , p-ISSN 1411-45903,e-ISSN 2722-0222
- [15] Fenanda, D. A., Farid, I. W., & Priananda, C. W. (2021). Kontrol Flow Gas pada Pengembangan Sistem Distribusi Gas Rumah Tangga Menggunakan PLC dan Metode Fuzzy Logic. Jurnal Teknik ITS, 10(2).
<https://doi.org/10.12962/j23373539.v10i2.68298>
- [16] Fivit Marwita, “Dasar Sistem Kendali”, ISTN. (e-book)
- [17] Fivit Marwita(1), Ariman(2), M.Febriansyah(3), Iswoko(4), “RANCANG BANGUN ALAT UKUR KONDISI RUANG INKUBATOR BAYI BERBASIS KOMPUTER PC DAN APLIKASI ANDROID”, Sainstech Vol. 30 No. 2, 2020, ISSN : 1410 -7104.
- [18] Fiqhi, F., Prabowo, Y., & Gata, G. (2017). Perancangan Sistem Aeroponik Berbasis Arduino Uno dan Komunikasi GSM Untuk Pemberian Larutan Nutrisi Untuk Budidaya Sayuran. Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem Dan Teknologi Informasi), 1(2). <https://doi.org/10.29207/resti.v1i2.40>
- [19] Friadi, R., & Junadhi, J. (2019). Sistem Kontrol Intensitas Cahaya, Suhu dan Kelembaban Udara Pada Greenhouse Berbasis Raspberry PI. Journal of Technopreneurship and Information System (JTIS), 2(1), 30–37. <https://doi.org/10.36085/jtis.v2i1.217>
- [20] Guo, X., Zhu, H., & Zhang, S. (2024). Overview of electrolyser and hydrogen production power supply from industrial perspective. In International Journal of Hydrogen Energy (Vol. 49). <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.10.325>
- [21] Irawan, Y., Febriani, A., Wahyuni, R., & Devis, Y. (2021). Water quality measurement and filtering tools using Arduino Uno, PH sensor and TDS meter sensor. Journal of Robotics and Control (JRC), 2(5). <https://doi.org/10.18196/jrc.25107>
- [22] Karsid, K., & Aziz, R. (2016). Perancangan Kontrol Multivariabel Sistem Pengaduk Pemurnian Uranium. JTT (Jurnal Teknologi Terapan), 2(1), 16–20. <https://doi.org/10.31884/jtt.v2i1.23>
- [23] Made Subrata, D., Fauzan, F. A., Arafiah, R., Oktarida, R., & Diterima, N. (2018). Sistem Monitoring Parameter Suhu Cabe Merah Dengan Sistem Aeroponik Pada Greenhouse untuk Mendukung Ketahanan Pangan Nasional INFORMASI ARTIKEL ABSTRAK: Vol. IV (Issue 2). <http://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jwl>
- [24] Muksin, J., A. Hi Musa, M., Ambarita, A., Ibrahim, A., & Hadad, S. H. (2021). SISTEM KONTROL SUHU DAN PENDETEKSI GERAKAN PADA RUANGAN LABORATORIUM BERBASIS

- ARDUINO UNO R3 DENGAN MODUL REAL TIME CLOCK (RTC) DAN PASSIVE INFRARED RECEIVER (PIR) (STUDI KASUS : LABORATORIUM POLITEKNIK SAINS & TEKNOLOGI WIRATAMA MALUKU UTARA). Jurnal Ilmiah ILKOMINFO - Ilmu Komputer & Informatika, 4(1).
<https://doi.org/10.47324/ilkominfo.v4i1.119>
- [25] Pramartaningthyas, E. K., Ma'shumah, S., Fuad, M. I., Elektro, J. T., Teknik, F., Qomaruddin, U., Raya, J., No, B., Bungah, D., Bungah, K., Bungah, K., Bungah, K., Gresik, J., & Timur, I. (n.d.). Jurnal RESISTOR | 1 ANALISIS PERFORMA SISTEM KENDALI pH DAN TDS TERLARUT BERBASIS INTERNET OF THINGS PADA SISTEM HIDROPONIK DFT. <https://s.id/jurnalresistor>
- [26] Pratama, I. P. Y. pramesia, Wibawa, K. S., & Suarjaya, I. M. A. D. (2022). Perancangan PH Meter Dengan Sensor PH Air Berbasis Arduino. JITTER : Jurnal Ilmiah Teknologi Dan Komputer, 3(2).
<https://doi.org/10.24843/jtrti.2022.v03.i02.p02>
- [27] Puspasari, F., Satya, T. P., Oktiawati, U. Y., Fahrurrozi, I., & Prisyanti, H. (2020). Analisis Akurasi Sistem sensor DHT22 berbasis Arduino terhadap Thermohygrometer Standar. Jurnal Fisika Dan Aplikasinya, 16(1).
<https://doi.org/10.12962/j24604682.v16i1.5776>
- [28] Putra, G. S. A., Nabila, A., & Pulungan, A. B. (2020). Power Supply Variabel Berbasis Arduino. JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia, 1(2).
<https://doi.org/10.24036/jtein.v1i2.53>
- [29] Sharma, K. L. S. (2017). Automation Strategies. In Overview of Industrial Process Automation (pp. 53–74). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-805354-6.00006-2>
- [30] Sianturi, P. L. L., Manalu, C. J. F., & Marpaung, E. E. (2021). PENGARUH KONSENTRASI DAN INTERVAL WAKTU PEMBERIAN PUPUK CAIR AB MIX TERHADAP PERTUMBUHAN DAN PRODUKSI TANAMAN CABAI MERAH (*Capsicum annum* L.) DI POLIBAG. Majalah Ilmiah METHODA, 11(1), 1–9.
<https://doi.org/10.46880/methoda.Vol11No1.pp1-9>
- [31] Suhaeb, S., Abd Djawad, Y., Jaya, H., Ridwansyah, Sabran, & Risal, A. (2017). Mikrokontroler dan Interface. Buku Ajar Jurusan Pendidikan Teknik Elektronika UNM, 2–3.
https://scholar.google.co.id/scholar?hl=id&as_sdt=0.5&q=jurnal+artikel+ilmiah&btnG=
- [32] Thalib. (2014). Sistem Kontrol Loop Terbuka dan Tertutup. In Jte (Vol. 1, Issue 1).
- [33] Wirman, R. P., Wardhana, I., & Isnaini, V. A. (2019). Kajian Tingkat Akurasi Sensor pada Rancang Bangun Alat Ukur Total Dissolved Solids (TDS) dan Tingkat Kekeruhan Air. Jurnal Fisika, 9(1). <https://doi.org/10.15294/jf.v9i1.17056>