

RANCANG BANGUN SISTEM KENDALI KUALITAS AIR HIDROPONIK BERBASIS PLC

Oleh : Adeguna Ridlo Pramurti¹, Triyono², Achmad Hardito³, Lilik Eko Nuryanto⁴, Septiantar Tebe Nursaputro⁵

^{1,2,3,4,5}Jurusan Teknik Elektro Polines
Jl. Prof. Sudarto Tembalang Semarang 50271
Email : adegunapramurti@polines.ac.id

Abstrak

Kualitas tanaman hidroponik sangat dipengaruhi oleh kualitas airnya. Kualitas air ini perlu dijaga untuk mengoptimalkan pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Penelitian ini bertujuan merancang sistem kendali otomatis untuk kualitas air pada media tanam hidroponik. Metode penelitian ini adalah eksperimen, yaitu merancang sistem kendali otomatis pada media tanam hidroponik dan menguji keandalan sistemnya. Sistem kendali yang digunakan pada penelitian ini adalah Arduino dan PLC Modicon TM221CE16T. Sistem kendali tersebut akan membaca kandungan nutrisi, pH, dan suhu air dari sensor TDS, sensor SEN0161, sensor DS18B20. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sensor pH mampu beroperasi secara optimal dengan rentang selisih pengukuran sebesar 5,71%, sensor TDS memiliki rentang selisih pengukuran sebesar 9,1%, dan sensor DS18B20 memiliki rentang selisih pengukuran sebesar 1,88%. Sistem pendingin mampu mencapai set point suhu pada rata-rata waktu 40 menit di hari pertama, dan 53 menit di hari kedua. Sistem ini cukup andal untuk dimanfaatkan sebagai sistem otomatis untuk media tanam hidroponik.

Kata kunci : Hidroponik, kandungan nutrisi, pH, sistem kendali otomatis, suhu air

Abstract

The hydroponic planting system is a planting system using water as a medium. The quality of the hydroponic crop is greatly influenced by the quality of the water. This water quality needs to be maintained to optimize plant growth and development. This study aims to design an automatic control system to regulate the nutrient content, pH, and water temperature in the hydroponic planting medium. The research method is experimental, namely designing an automatic control system in the hydroponic planting medium and testing the reliability of the system. The control system used in this study is Arduino and PLC Modicon TM221CE16T. The control system will read the nutrient content, pH, and water temperature from the TDS sensor, the SEN0161 sensor, and the DS18B20 sensor. The accuracy of the three sensors was tested through observation and comparison. The results of this study indicate that the pH sensor is able to operate optimally with a measurement difference range of 5.71%, the TDS sensor has a measurement difference range of 9.1%, and the DS18B20 sensor has a measurement difference range of 1.88%. The cooling system is able to reach the temperature set point in an average of 40 minutes on the first day, and 53 minutes on the second day. This system is reliable enough to be used as an automatic system for hydroponic growing media.

Keywords : Automatic control system, hydroponics, nutrient content, pH, water temperature

1. Pendahuluan

Sistem tanam hidroponik adalah sistem tanam tanpa media tanah. Metode tanamnya adalah dengan merendam akar tanaman di media air yang telah diberi nutrisi (Goddek et al., 2019; Nabi et al., 2022). Penerapan sistem tanam hidroponik telah berkembang secara pesat di perkotaan. Hal tersebut dikarenakan sistem tanam hidroponik menjadi solusi minimnya lahan pertanian yang ada di daerah perkotaan. Selain itu, sistem ini menawarkan beberapa keunggulan, diantaranya, rendahnya resiko penyakit pada tanaman, kemudahan pemberian nutrisi tanaman, dan waktu panen tanaman yang relatif singkat (Gong et al., 2022; Nguyen et al., 2016).

Hasil kualitas panen tanaman hidroponik sangat dipengaruhi oleh kualitas airnya. Kualitas air ini perlu dijaga untuk mengoptimalkan pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Rentang suhu air optimal pada sistem hidroponik adalah berikisar 20 – 28°C tergantung jenis tanamannya (Asmbangnirwana et al., 2022; Hendrickson et al., 2022; Thakulla et al., 2021). Beberapa tanaman seperti selada, bayam, tomat, dan mentimun terbukti dapat tumbuh secara optimal pada rentang suhu tersebut. Suhu air ini mempengaruhi sistem metabolisme tanaman dan penyerapan nutrisi oleh tanaman. Laju pertumbuhan dapat meningkat lebih dari 30% jika kualitas suhu airnya optimal (Gent, 2016; Goh et al., 2023; Sharma et al., 2018).

Cuaca lingkungan yang fluktuatif dapat berpengaruh pada kualitas air sistem hidroponik. Hal ini dikarenakan cuaca yang fluktuatif ini mempengaruhi perubahan suhu air. Suhu air yang terlalu tinggi akan menurunkan kadar oksigen yang terlarut di dalam air. Sedangkan, suhu yang terlalu rendah akan menurunkan kemampuan tanaman dalam penyerapan air dan nutrisi yang terlarut (Abadi et al., 2020; AMIN, 2023). Kualitas dan suhu air harus dikendalikan agar dapat menghasilkan tanaman hidroponik yang berkualitas.

Penelitian ini mengusulkan sistem

otomasi untuk mengendalikan kualitas dan suhu air pada sistem tanam hidroponik. Sistem otomatis ini memiliki masukan berupa sensor suhu, sensor pH, dan sensor nutrisi untuk mengukur kualitas air. Keluaran sistem terdiri dari pompa pemberi nutrisi, pompa air, dan sistem refrigerasi. Fungsi sistem refrigerasi adalah menstabilkan suhu pada air dengan cara memindahkan kalor dari tanki air hidroponik ke pipa-pipa saluran air (Kirkpatrick, 2023). Masukan dan keluaran sistem dikendalikan oleh Arduino dan *programmable logic controller* (PLC) melalui beberapa relay.

2. Tinjauan Pustaka

Sistem kendali kualitas dan suhu air telah banyak diteliti pada penelitian-penelitian lainnya. Ada beberapa sensor untuk mengukur suhu, seperti DS18B20, DHT11, DHT22, dan LM35. Sensor DS18B20 adalah salah satu sensor suhu yang tahan terhadap berbagai kondisi lingkungan dan tahan air. Sensor ini memiliki keandalan dan tingkat akurasi yang tinggi, yaitu sebesar 99,05%. Pada pengujian suhu 20 – 30°C selama 24 jam, sensor DS18B20 memiliki nilai galat sebesar 0,17°C. Nilai galat ini merupakan yang paling rendah dibandingkan dengan sensor suhu lainnya yang diuji pada kondisi yang sama (Bagus et al., 2022; Baskoro et al., 2021; Yulizar et al., 2023). Penelitian ini menggunakan sensor DS18B20 sebagai masukan untuk mengukur suhu air pada sistem tanaman hidroponik.

Pengukuran kualitas air pada penelitian ini menggunakan sensor pH dan sensor TDS. Beberapa penelitian lain telah menguji sensor pH dan sensor TDS dalam pengukuran kualitas air. Prinsip kerja sensor TDS adalah mengukur konduktivitas listrik untuk menentukan zat yang terlarut di dalam air. Sensor TDS memiliki tingkat akurasi yang tinggi, yaitu sebesar 99,81%. Sedangkan, prinsip kerja sensor pH adalah mengkonversi reaksi kimia yang terkandung di dalam air untuk diubah menjadi sinyal listrik (Chuzaini et al., 2022). Penelitian ini

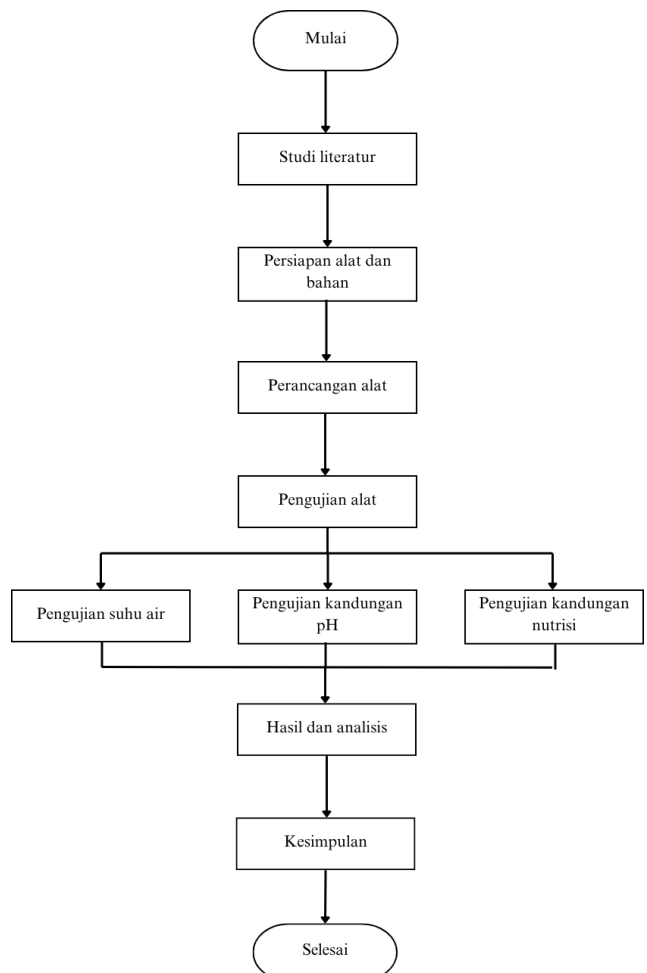
menggunakan sensor pH SEN0161 karena telah teruji dapat melakukan pembacaan secara akurat pada beberapa kondisi lingkungan tertentu. Tingkat akurasi sensor pH SEN0161 adalah lebih dari 98% (Mushthofa & Kurniawan, 2020; Stt et al., 2019).

Penelitian lainnya menggunakan mikrokontroler Arduino sebagai sistem kendalian untuk sensor DS18B20, sensor SEN0161, dan sensor TDS (Chuzaini et al., 2022; Rasid & Marzuki, 2017). Arduino adalah modul kendali yang mendukung untuk masukan sensor-sensor tersebut. Arduino biasa digunakan pada purwarupa untuk skala laboratorium (Redhwi & Fallatah, 2024). Sedangkan, hidroponik pada penelitian ini ditempatkan di kondisi nyata, yaitu berada di luar ruangan dan pada kondisi cuaca yang fluktuatif. Penelitian ini mengusulkan Arduino dan *programmable logic control* (PLC) sebagai sistem kendali otomatis. PLC adalah salah satu sistem kendali yang umum digunakan di industri kecil hingga besar. Hal ini karena PLC memiliki keandalan yang tinggi, tahan terhadap berbagai kondisi lingkungan, suhu ekstem, dan debu (Bolton, 2015; MASAL et al., 2017). Sehingga, pada penelitian ini mengusulkan PLC sebagai sistem kendalian utama yang diharapkan handal sebagai sistem otomasi pada sistem hidroponik.

Sistem kendali otomatis di penelitian ini menggunakan sistem refrigerasi sebagai keluaran sistem. Sistem refrigrasi diterapkan sebagai penstabil suhu air, yaitu dengan menyerap atau membuang kalor sehingga suhu air pada sistem hidroponik dapat terjaga. Sistem ini telah diterapkan pada coldstorage untuk menjaga suhu ruangan lebih rendah dari suhu lingkungan (FIANTI, 2023). Refrigeran yang digunakan pada sistem refrigerasi haruslah memiliki coeficient of performance (COP) dan efisiensi yang tinggi, seperti halnya refrigeran R32, R22, R1270, R134a, dan R404a yang telah banyak digunakan di pasaran (Hussin et al., 2022; F. A. Pratama et al., 2021; J. I. Pratama et al., 2024).

3. Metode

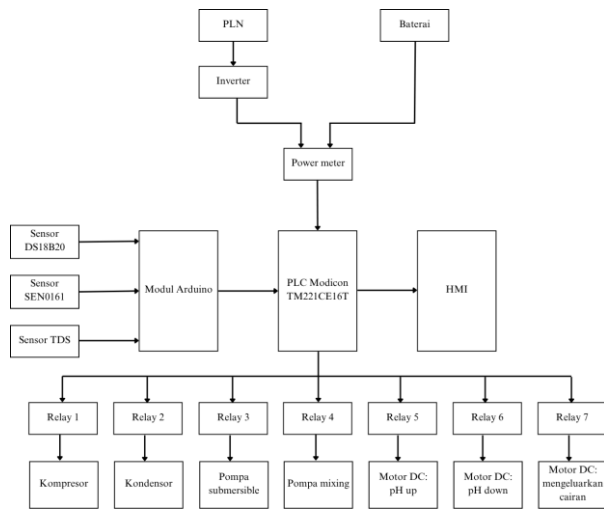
Penelitian ini dilakukan di laboratorium Teknik Listrik Politeknik Negeri Semarang. Sistem hidroponik dirancang sebagai media tanaman kangkung. Gambar 1 menunjukkan diagram alir penelitian. Proses penelitian terdiri dari identifikasi masalah suhu air pada tanaman kangkung, perencanaan dan perancangan sistem kendali otomatis, pengujian sistem, analisis hasil pengujian, dan kesimpulan. Pengujian sistem terdiri dari pengujian keandalan sistem kendali otomatis dan pengujian terhadap hasil perlakuan tanaman kangkung menggunakan sistem kendali otomatis. Ada beberapa pengujian keandalan sistem, yaitu mengukur akurasi sensor dan mengukur data sinyal listrik sistem.



Gambar 1. Diagram alir penelitian.

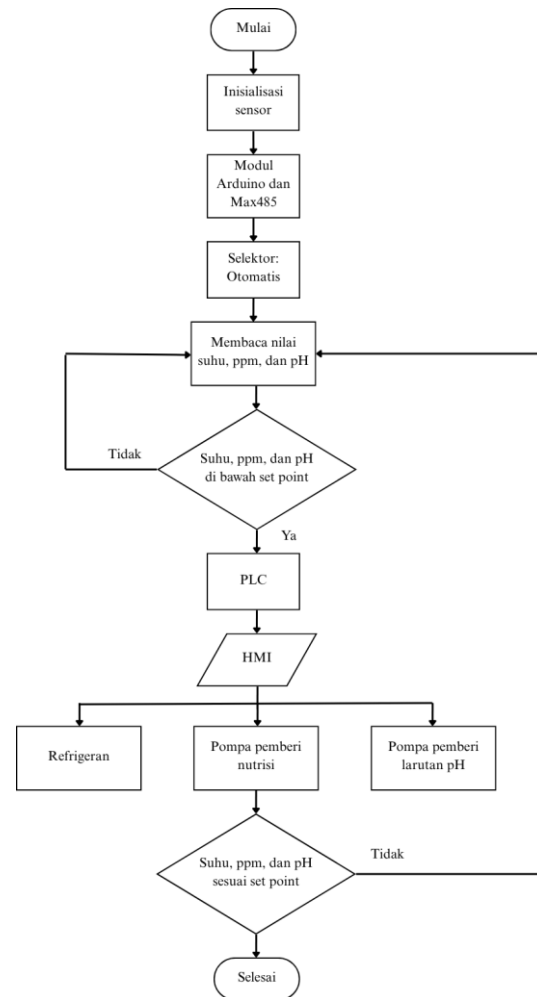
Perancangan sistem kendali suhu otomatis pada sistem hidroponik ini menggunakan Arduino Uno dan PLC

Modicon TM221CE16T sebagai kendalian. Arduino akan menerima masukan sinyal dari sensor DS18B20, sensor SEN0161, dan sensor TDS. Arduino mengirimkan informasi ke PLC, kemudian informasi tersebut diolah PLC untuk memicu kontak relay yang terhubung ke keluaran sistem. Kompresor Hermetic BL-2088-SA digunakan sebagai sistem refrigerasi utama pada penelitian ini untuk mengompresi gas refrigeran R134a. Gambar 2 menunjukkan diagram blok penelitian ini.



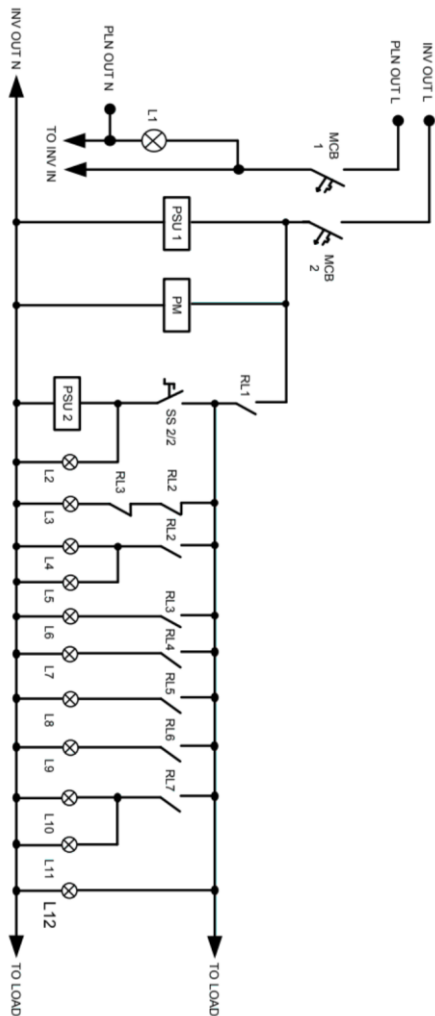
Gambar 2. Diagram blok sistem.

Gambar 3 menunjukkan diagram cara kerja sistem secara otomatis. Operator bertugas untuk mengatur *set point* data suhu, pH, dan level TDS pada sistem. *Set point* suhu adalah 26 – 28°C, *set point* pH adalah 5,5 – 7, dan level TDS terlarut harus lebih dari 900 dengan maksimal 1100. Kemudian, operator mengatur waktu penyalaan pompa pada bak penampungan hidroponik. Ada beberapa pompa yang berfungsi untuk mensirkulasi air dan memberikan nutrisi ke saluran air. Pompa pemberi nutrisi akan aktif pada saat data nilai takaran nutrisi air atau *part per million* (ppm) dalam air belum mencapai *set point* pH dan level TDS yang diharapkan. Saat kondisi tersebut, sensor pH dan sensor TDS akan mengirimkan sinyal ke Arduino, kemudian Arduino mengirimkan data ke PLC untuk memicu relay pompa agar pompa pemberi nutrisi beroperasi. Proses ini akan berlangsung sampai dengan nilai ppm telah tercapai.



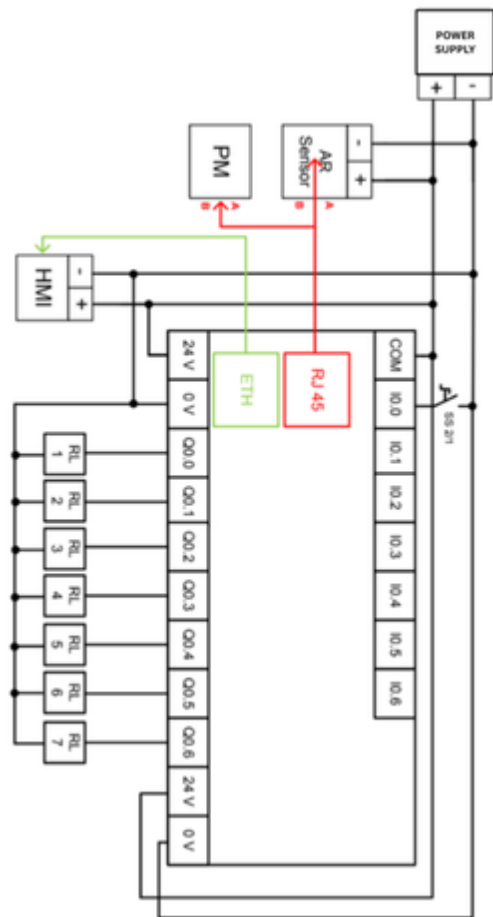
Gambar 3. Diagram alir sistem otomatis.

Sistem refrigerasi akan beroperasi pada saat *set point* suhu di bak penampungan hidroponik belum tercapai, yaitu lebih dari 28°C. Sensor suhu akan mengirimkan sinyal ke modul Arduino dan mengaktifkan PLC. Kemudian, PLC akan mengirimkan informasi ke relay kompresor untuk mengaktifkan sistem refrigerasi. Setelah *set point* suhu di bak penampungan tercapai, PLC akan mengaktifkan relay pompa air. Pompa air digunakan untuk mensirkulasi air dari bak penampungan ke pipa saluran irigasi hidroponik. Saat suhu air di bak penampungan kurang dari 25°C, PLC akan menonaktifkan relay kompresor.



Gambar 4. Diagram rangkaian daya sistem.

Gambar 4 menunjukkan diagram rangkaian daya dari sistem yang digunakan di penelitian ini. Sistem ini dapat dicatu oleh sumber energi listrik dari PLN dan energi alternatif seperti pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). Terdapat power supply unit (PSU) dan modul daya (PM) yang berfungsi untuk memberikan daya ke sistem kendali. Lampu indikator digunakan untuk memberikan informasi terkait kondisi dan operasi input dan output dari sistem. Gambar 5 menunjukkan rangkaian kendali dari sistem. Kendali utama yang digunakan pada penelitian ini adalah PLC. Fungsi pin PLC secara lebih jelas ditunjukkan pada Tabel 1. Rangkaian kendali ini menggunakan 7 relay yang masing-masing berfungsi untuk mengendalikan arus yang masuk ke output sistem.



Gambar 5. Diagram rangkaian kendali sistem.

Tabel 1. Alamat input dan output PLC

Jenis	Alamat	Komponen	Fungsi
Input	I0.0	Push button ON	Operasi sistem pada mode otomatis
Input	M10	Push button ON pompa	Operasi pompa submersible mode manual
Input	M20	Push button ON kompresor	Operasi kompresor mode manual
Input	MF20	Setpoint suhu batas atas atau bawah	Kontrol suhu pada batas atas atau batas bawah
Input	%IWN1 00.0.1	Sensor nutrisi	Deteksi kadar ppm
Input	%IWN1 00.0.2	Sensor pH	Deteksi kadar pH

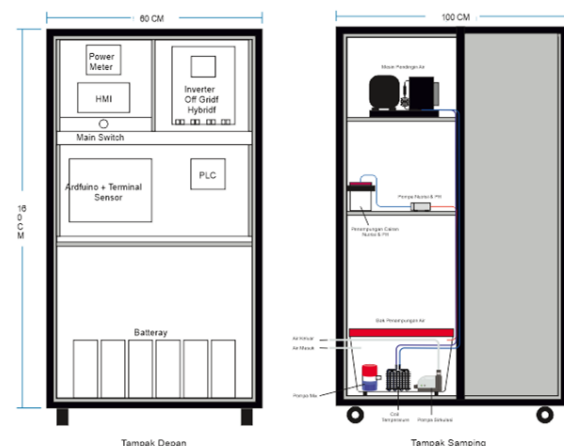
Jenis	Alamat	Komponen	Fungsi
Output	Q0.1	Kompresor	Operasi gas refrigeran ke kondensor
Output	Q0.1	Kondensor	Menurunkan tekanan dan mengubah refrigeran dari gas menjadi cair
Output	Q0.2	Pompa submersible	Memindah air dari bak penampungan ke pipa media tanam
Output	Q0.3	Pompa mixing	Mengaduk cairan keluaran tangki
Output	Q0.4	Motor DC	Mengeluarkan cairan pH up
Output	Q0.5	Motor DC	Mengeluarkan cairan pH down
Output	Q0.6	Motor DC	Mengeluarkan cairan nutrisi

4. Hasil dan Pembahasan

Gambar 6 menunjukkan media tanam hidroponik yang digunakan pada penelitian ini. Media tanam ini digunakan untuk menanam kangkung. Box panel kendali sistem diletakkan berdekatan dengan media tanam hidroponik. Box ini terdiri dari power meter, *human interface* (HMI), modul Arduino, dan PLC, relay, timer, dan kabel. Gambar 7 menunjukkan tata letak box panel kendali. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bengkel Listrik, Politeknik Negeri Semarang. Tanaman kangkung digunakan sebagai objek penelitian ini. Pengujian dilakukan selama 7 hari untuk mengetahui keandalan sistem dan pengaruh terhadap perlakuan objek penelitian.

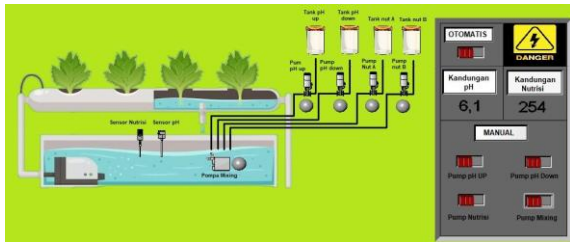


Gambar 6. Media tanam hidroponik.



Gambar 7. Tata letak box panel kendali.

Sistem kendali ini dapat diatur secara manual dan otomatis menggunakan *human interface* (HMI) yang ditunjukkan pada Gambar 8. Sistem kendali kualitas air ini perlu diuji akurasiya agar menghasilkan pengukuran dan pengontrolan kualitas air sesuai yang diharapkan. Sensor SEN0161 dibandingkan dengan pH meter Hanna HI98107 untuk menguji keakuratannya. Sebelumnya, sensor pH dan pH meter telah dikalibrasi. Pengujian dilakukan 6 hari mulai pukul 09.10 – 14.00 WIB.



Gambar 8. Tampilan HMI untuk kendali nutrisi dan pH.

Tabel 2 menunjukkan hasil pengukuran sensor pH dan hasil selisih sensor pH dengan pH meter. Berdasarkan hasil pengukuran sensor, menunjukkan bahwa minimal pH yang terukur adalah 6,1 dan maksimal adalah 7,7. Berdasarkan pengujian tersebut, pompa pemberi larutan pH tidak beroperasi dikarenakan pH lebih dari 5,5. Tingkat keasamaan suatu larutan air dikatakan netral pada pH 7, sedangkan di sistem ini terdapat nilai pH lebih dari 7 dengan rata-rata nilai pH adalah 6,47. Penelitian ini belum ada kendali untuk menurunkan nilai pH tersebut.

Tabel 2. Hasil Pengukuran pH

Hari	Waktu (WIB)	Sensor SEN0161	Hanna HI98107
Pertama	09.00	6,9	8,4
	10.00	6,8	8,3
	11.00	6,9	8,1
	12.00	7,7	8,6
	13.00	7,2	7,3
	14.00	7,3	7,1
Kedua	09.00	6,7	7,2
	10.00	6,5	6,7
	11.00	6,3	6,5
	12.00	6,1	6,4
	13.00	6,2	6,8
	14.00	6,1	6,9
Ketiga	09.00	6,2	6,6
	10.00	6,4	6,6
	11.00	6,4	6,7
	12.00	6,4	6,7
	13.00	6,4	6,7
	14.00	6,3	6,6
Keempat	09.00	6,1	6,5
	10.00	6,1	6,6
	11.00	6,3	6,7
	12.00	6,4	6,7
	13.00	6,7	6,7
	14.00	6,7	6,8
Kelima	09.00	6,3	6,7
	10.00	6,4	6,5

Hari	Waktu (WIB)	Sensor SEN0161	Hanna HI98107
Keenam	11.00	6,4	6,7
	12.00	6,4	6,7
	13.00	6,5	6,8
	14.00	6,6	6,8
	09.00	6,2	6,7
	10.00	6,2	6,7
Keenam	11.00	6,4	6,8
	12.00	6,4	6,7
	13.00	6,6	6,9
	14.00	6,8	6,9

Berdasarkan perbandingan hasil ukur sensor pH dan pH meter menunjukkan rata-rata selisih kesalahan sebesar 5,71%. Adanya selisih hasil pengukuran diakibatkan karena sensor SEN0161 terlalu sensitif apabila terkena air. Menurut Standard IEC No.13B-23 kelas 5, bahwa batas toleransi adalah sebesar $\pm 5\%$, sehingga rata-rata selisih sensor SEN0161 dengan pH meter tergolong tidak terlalu akurat untuk mengukur nilai pH yang terlarut di dalam air.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Kandungan Nutrisi

Hari	Waktu (WIB)	Sensor TDS (ppm)	TDS meter H198301 (ppm)
Pertama	09.00	831	579
	10.00	856	660
	11.00	938	718
	12.00	995	788
	13.00	957	768
	14.00	972	793
Kedua	09.00	1100	923
	10.00	1160	911
	11.00	1180	923
	12.00	1151	843
	13.00	1188	1000
	14.00	1156	1030
Ketiga	09.00	1160	1130
	10.00	1148	1121
	11.00	1140	1130
	12.00	1147	1190
	13.00	1174	1220
	14.00	1197	1220
Keempat	09.00	1112	1088
	10.00	1138	1123
	11.00	1139	1129

Hari	Waktu (WIB)	Sensor TDS (ppm)	TDS meter H198301 (ppm)
	12.00	1144	1135
	13.00	1149	1131
	14.00	1166	1144
Kelima	09.00	1122	1111
	10.00	1135	1119
	11.00	1143	1125
	12.00	1149	1131
	13.00	1168	1139
Keenam	14.00	1188	1155
	09.00	1100	1122
	10.00	1133	1128
	11.00	1145	1122
	12.00	1159	1133
	13.00	1164	1229
	14.00	1166	1233

Tabel 3 menunjukkan hasil pengukuran kandungan nutrisi. Pengujian terhadap kandungan nutrisi dilakukan secara bersamaan dengan pengujian pH air. Sensor TDS dibandingkan dengan TDS meter H198301 untuk menguji tingkat akurasi sensor. Pada pengujian selama 6 hari, nilai konsentrasi nutrisi menunjukkan bahwa pompa pemberi nutrisi beroperasi pada hari pertama, yaitu saat nilai nutrisi kurang dari 900 ppm. Pengujian hari pertama menunjukkan kandungan nutrisi 831 ppm, dan ini adalah kandungan nutrisi terendah selama pengujian. Kandungan nutrisi tertinggi adalah 1197. Rata-rata selisih hasil pengukuran sensor TDS dan TDS meter H198301 adalah sebesar 9,1%.

Tabel 4. Hasil Pengukuran Suhu Air

Hari	Waktu (WIB)	Sensor DS18B20 (°C)	Thermogun (°C)
Pertama	10.30	28	28,3
	11.00	26	26,4
	11.11	25	25,5
	11.30	27	27,4
	11.42	28	28,6
	12.00	26	26,5
	12.20	25	25,2
	12.30	26	26,4
	12.47	28	28,7
	13.00	27	28,2

Hari	Waktu (WIB)	Sensor DS18B20 (°C)	Thermogun (°C)
	13.30	25	25,8
	14.00	26	26,2
	14.23	28	28,5
	14.30	27	27,4
	15.00	25	25,4
	15.30	26	26,3
Kedua	10.30	29,7	30,1
	11.00	27	27,6
	11.30	26	26,5
	11.38	25	25,3
	12.00	27	27,6
	12.15	28	28,8
	12.30	27	27,7
	13.00	26	26,7
	13.12	25	25,5
	13.30	28	28,8
	14.00	26	26,6
	14.20	25	25,4
	14.30	26	26,5
	15.00	27	27,4
	15.30	27	27,3

Pengujian suhu air dilakukan selama 2 hari. Pengamatan dilakukan pada tiap interval waktu 30 menit, pada saat kompresor beroperasi, dan pada saat kompresor berhenti beroperasi. Suhu minimal sistem adalah 25°C dan suhu maksimal adalah 28°C. Sebelum dilakukan uji coba, suhu air yang terukur pada hari pertama sampai ketiga adalah lebih dari atau sama dengan 28°C. Hal ini menunjukkan bahwa perlu adanya kendali suhu air agar tanaman hidroponik dapat tumbuh secara optimal di rentang suhu yang diharapkan.

Tabel 4 menunjukkan data pengukuran suhu air dari yang terukur pada sensor DS18B20 dan thermogun selama 2 hari. Data Kompresor sebagai pendingin sistem akan beroperasi saat suhu yang terukur pada sensor DS18B20 adalah lebih dari 28°C, dan kompresor akan berhenti beroperasi saat suhu telah tercapai di 25°C. Berdasarkan hasil pengujian, didapatkan bahwa selisih pengukuran sensor dan thermogun adalah sebesar 1,88%. Hal ini menunjukkan bahwa sensor DS18B20 sangat akurat digunakan untuk mengukur suhu di dalam air. Pengujian hari pertama menunjukkan bahwa

pada pukul 11.11 WIB suhu telah tercapai di 25°C sehingga kompresor berhenti beroperasi. Kemudian, pada pukul 11.42 WIB suhu terukur adalah 28°C sehingga kompresor kembali beroperasi. Hari pertama rata-rata kompresor beroperasi selama 40 menit, waktu ini adalah yang dibutuhkan kompresor untuk menurunkan dari suhu sekitar 28°C sampai dengan 25°C. Sedangkan, pada hari kedua dibutuhkan waktu rata-rata 53 menit untuk menurunkan dari suhu lebih dari 28°C menjadi 25°C. Hal ini dipengaruhi oleh cuaca dan suhu sekitar yang fluktuatif.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian sistem, menunjukkan bahwa sensor pH mampu beroperasi secara optimal dengan rentang selisih pengukuran sebesar 5,71%, sensor TDS memiliki rentang selisih pengukuran sebesar 9,1%, dan sensor DS18B20 memiliki rentang selisih pengukuran sebesar 1,88%. Hal ini menunjukkan bahwa sensor DS18B20 adalah sensor yang paling akurat dan efektif digunakan pada penelitian ini. Sistem mampu mengatur dan menurunkan suhu di rentang rata-rata 40 menit pada hari pertama dan 53 menit di hari kedua. Apabila waktu yang dibutuhkan untuk menurunkan suhu makin lama, mengartikan bahwa sistem memerlukan biaya operasional berupa energi listrik yang lebih besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pemberi dana penelitian ini, yaitu DIPA Politeknik Negeri Semarang skema Penelitian Terapan Pratama (PTP) tahun 2024 dengan SK Nomor 0176/PL4.7.2/SK/2024, serta kepada pihak-pihak yang membantu pelaksanaan. Kami juga mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang terlibat dalam penelitian ini, dan kepada Politeknik Negeri Semarang atas dukungan tempat yang diberikan sehingga penelitian ini dapat terlaksana sesuai yang diharapkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abadi, S., Pitriadi, P., Nurfaidah, C., Faizal, M., Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, D., & Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, M. (2020). Pengontrolan Rumah Tanaman Hidroponik. *Seminar Nasional Hasil Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat (SNP2M)*, 5, 10–15. <https://jurnal.poliupg.ac.id/index.php/snp2m/article/view/2413>
- AMIN, C. (2023). Kajian Respons Kualitas Dissolved Oxygen Pada Sistem Smart Watering Unpad Dan Autopot Akibat Pengaruh Perubahan Suhu Lingkungan.
- Asmbangnirwana, I., Endryansyah, E., Rusimanto, P. W., & Zuhrie, M. S. (2022). Pengendalian Suhu Air Nutrisi Pada Hidroponik NFT (Nutrient Film Technique) Berbasis Fuzzy Logic Controller. *JURNAL TEKNIK ELEKTRO*, 11(1), 108–116.
- Bagus, M., Huda, R., & Kurniawan, W. D. (2022). Analisa Sistem Pengendalian Temperatur Menggunakan Sensor Ds18b20 Berbasis Mikrokontroler Arduino. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 7(02), 18–23.
- Baskoro, F. ., Ivory, R. A., Kholis, N. ., Baskoro, F. ., & Nurhayati, . . (2021). Review Penggunaan Sensor Suhu Terhadap Respon Pembacaan Skala Pada Inkubator Bayi: Review Penggunaan Sensor Suhu Terhadap Respon Pembacaan Skala Pada Inkubator Bayi. *Jurnal Teknik Elektro*, 10(1), 185–194. <https://doi.org/10.26740/JTE.V10N1.P185-194>
- Bolton, W. (2015). *Programmable Logic Controllers* (6th ed.). Newnes.
- Chuzaini, F., Studi Fisika, P., Fisika, J., & Negeri Surabaya, U. (2022). IoT Monitoring Kualitas Air Dengan

- Menggunakan Sensor Suhu, Ph, Dan Total Dissolved Solids (Tds). *Inovasi Fisika Indonesia*, 11(3), 46–56.
- FIANTI, F. (2023). Coefficient of Performance pada Coldstorage PT IMPD/PT WIFI Sorong. *Jurnal Voering*, 8(1), 29–34.
- Gent, M. P. N. (2016). Effect of temperature on composition of hydroponic lettuce. *Acta Horticulturae*, 1123, 95–100.
- Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., & Burnell, G. M. (2019). Aquaponics Food Production Systems: Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the Future. *Aquaponics Food Production Systems: Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the Future*, 1–620.
- Goh, Y. S., Hum, Y. C., Lee, Y. L., Lai, K. W., Yap, W. S., & Tee, Y. K. (2023). A meta-analysis: Food production and vegetable crop yields of hydroponics. *Scientia Horticulturae*, 321, 112339.
- Gong, L., Luo, L., Gao, J., Xiong, Y., Chen, C., Gan, H., Song, H., Velazquez-Gonzalez, R. S., Garcia-Garcia, A. L., Ventura-Zapata, E., Dolores Oscar Barceinas-Sanchez, J., & Sosa-Savedra, J. C. (2022). A Review on Hydroponics and the Technologies Associated for Medium- and Small-Scale Operations. *Agriculture* 2022, Vol. 12, Page 646, 12(5), 646.
- Hendrickson, T., Dunn, B. L., Goad, C., Hu, B., & Singh, H. (2022). Effects of Elevated Water Temperature on Growth of Basil Using Nutrient Film Technique. *HortScience*, 57(8), 925–932.
- Hussin, M. H. C., Sowi, S. A. A., Mahadi, M. A. S., Sanuddin, A., Khalil, A. N. M., & Rahim, Y. A. (2022). Experimental Performance of R134a/SiO₂ in Refrigeration System for Domestic Use. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 95(1), 145–163.
- Kirkpatrick, Allan. (2023). *Introduction to refrigeration and air conditioning systems : theory and applications*. 157.
- MASAL, M. S. D., WAGHMODE, M. G. R., SAWAT, M. A. B., & DOKE, M. S. S. (2017). Plc Based Switching Control for Industrial Automation for Repetitive Nature of Work. *JournalNX*, 112–115.
- Mushthofa, M. W., & Kurniawan, W. D. (2020). Analisa Sistem Pengendalian pH Air Berbasis Arduino Uno Pada Budidaya Ikan Air Tawar. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, 09(02), 37–43.
- Nabi, S., Kashmir, J. & Fayaz, I. N., Shabir, I., Jammu, A. R., Department, K. F., Mir, A. A., Author, I. C., Fayaz, N., & Rather, S. A. (2022). Hydroponics: Environmentally sustainable practice in the agricultural system. *The Pharma Innovation Journal*, 11(7S), 207–212.
- Nguyen, N. T., McInturf, S. A., & Mendoza-Cózatl, D. G. (2016). Hydroponics: A Versatile System to Study Nutrient Allocation and Plant Responses to Nutrient Availability and Exposure to Toxic Elements. *Journal of Visualized Experiments : JoVE*, 2016(113), 54317.
- Pratama, F. A., Mitrakusuma, W. H., Falahuddin, M. A., Ayu, W. S., Refrigerasi, J. T., Udara, T., Bandung, N., & 40012, B. (2021). Kajian Kinerja Sistem Refrigerasi Menggunakan Refrigeran R32, R22 & R1270 Menggunakan REFPROP. *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, 12, 472–477.
- Pratama, J. I., Taufiqurrahman, M., & Ivanto, M. (2024). Analisis Perbandingan Penggunaan Refrigeran R-134a dan R-404A Pada Trainer Sistem Refrigerasi Dengan Kompresor ¼ PK. *JTRAIN: Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin*, 5(2), 07–13.

- Rasid, M., & Marzuki. (2017). Analysis Using Temperature Sensor DS18B20 Hydroponic Plants Smart In Vertical Agriculture. *International Conference on Engineering and Technology Development*, 4(1), 474–482.
- Redhwi, I., & Fallatah, A. (2024). The Versatile World of Arduino Boards: A Comprehensive Review. *Juniper Online Journal Material Science*, 9(1), 1–2.
- Sharma, N., Acharya, S., Kumar, K., Singh, N., & Chaurasia, O. P. (2018). Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: An overview. *Journal of Soil and Water Conservation*, 17(4), 364.
- Stt, D. I., Balikpapan, M., Karangan, J., Sugeng, B., Sulardi,), Sekolah,), & Teknologi, T. (2019). Uji Keasaman Air Dengan Alat Sensor pH Di STT Migas Balikpapan. *Jurnal Kacapuri : Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, 2(1), 65–72.
- Thakulla, D., Dunn, B., Hu, B., Goad, C., & Maness, N. (2021). Nutrient Solution Temperature Affects Growth and °Brix Parameters of Seventeen Lettuce Cultivars Grown in an NFT Hydroponic System. *Horticulturae* 2021, Vol. 7, Page 321, 7(9), 321.
- Yulizar, D., Soekirno, S., Ananda, N., Prabowo, M. A., Perdana, I. F. P., & Aofany, D. (2023). *Performance Analysis Comparison of DHT11, DHT22 and DS18B20 as Temperature Measurement* (pp. 37–45).