

PENGATURAN KECEPATAN POMPA AIR PADA MEDIA TANAM HIDROPONIK BERBASIS *IoT*

Muharram Mahdafiqia, Rosdiana^{*)}, Ezwarsyah, Taufiq dan Selamat Meliala

Teknik Elektro, Universitas Malikussaleh, Lhokseumawe, Indonesia

^{*)} E-mail: rosdiana@unimal.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem pengaturan kecepatan pompa air pada media tanam hidroponik berbasis *Internet of Things (IoT)* dengan kendali *PID (Proportional-Integral-Derivative)*. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terhubung dengan sensor YF-S201 untuk laju aliran air, DS18B20 untuk suhu, PH-4502C untuk pH, serta sensor TDS untuk kualitas nutrisi. Data sensor dikirim secara real-time melalui koneksi *Wi-Fi* dan ditampilkan pada platform Telegram sebagai media pemantauan jarak jauh. Metode *tuning PID* menggunakan pendekatan Ziegler-Nichols dengan parameter $K_p=12,96$, $T_i=1,102$, dan $T_d=0,2755$. Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu menjaga laju aliran 4,00 L/m dengan kesalahan steady-state kecil, overshoot 25% pada detik ke-5, dan kondisi stabil pada detik ke-30. *Duty cycle* 92,16% menghasilkan tegangan 10V dan daya 33 Watt. Sistem ini mampu memantau suhu 26,1–29,8°C, pH 6,1–6,9, dan TDS 510–1200 ppm secara real-time, yang terbukti berpengaruh terhadap pertumbuhan optimal tanaman selada. Implementasi sistem ini menunjukkan peningkatan efisiensi dan kemudahan kontrol pada budidaya hidroponik modern yang cerdas dan berkelanjutan.

Kata kunci: Hidroponik, *Internet of Things*, *PID*, pengaturan kecepatan pompa air, pertanian pintar.

Abstract

The *Internet of Things (IoT)* system with *Proportional-Integral-Derivative (PID)* control was designed using an ESP32 microcontroller connected to several sensors, including the YF-S201 for water flow rate, DS18B20 for temperature, PH-4502C for pH, and a TDS sensor for nutrient quality. Sensor data are transmitted in real time via a *Wi-Fi* connection and displayed on the Telegram platform as a medium for remote monitoring. The *PID* tuning method applies the Ziegler-Nichols approach with parameters $K_p = 12.96$, $T_i = 1.102$, and $T_d = 0.2755$. Test results show that the system can maintain a flow rate of 4.00 L/min with minimal steady-state error, a 25% overshoot at the 5th second, and a stable condition at the 30th second. A 92.16% duty cycle produces a voltage of 10V and power consumption of 33 Watts. The system can monitor temperature (26.1–29.8°C), pH (6.1–6.9), and TDS (510–1200 ppm) in real time, which significantly affect optimal lettuce growth. The implementation of this system demonstrates improved efficiency and ease of control in modern, intelligent, and sustainable hydroponic cultivation.

Keywords: Hydroponics, *Internet of Things*, *PID*, water pump speed control, smart agriculture.

1. Pendahuluan

Pertanian adalah salah satu sektor yang sangat penting dalam perekonomian Indonesia. Namun, lahan pertanian semakin berkurang akibat alih fungsi lahan untuk keperluan industri dan perumahan. Oleh karena itu, diperlukan inovasi dalam bidang pertanian untuk mengatasi masalah ini. Salah satu solusi yang mulai banyak diterapkan adalah sistem pertanian hidroponik[1].

Hidroponik merupakan metode bercocok tanam tanpa menggunakan tanah, melainkan menggunakan air yang mengandung nutrisi. Salah satu alasan penting memilih hidroponik sebagai metode pertanian adalah karena fleksibilitas dan daya adaptasinya terhadap kondisi geografis dan lingkungan yang sulit. Sebagai contoh, pasca

bencana tsunami tahun 2004 yang melanda wilayah Aceh dan terkhusus di wilayah Aceh Besar, banyak lahan pertanian menjadi rusak akibat kontaminasi air laut dan hilangnya unsur hara tanah[2][3].

Di era teknologi saat ini Pengaturan kecepatan pompa air DC pada sector pertanian tanaman hidroponik menggunakan pengendalian *PID* digital sangat penting karena mendukung efisiensi energi, keandalan peralatan, kualitas layanan, fleksibilitas, produktivitas, keamanan, dan inisiatif lingkungan. Penambahan teknologi berbasis *Iot* pada pengaturan kecepatan pompa air dalam sistem hidroponik menjadi inovasi yang. Dalam konteks hidroponik, sistem ini memungkinkan pengguna untuk mengontrol kecepatan pompa air kapan saja dan di mana saja, tanpa harus berada di lokasi fisik sistem hidroponik

tersebut. Melalui antarmuka Iot yang user-friendly, pengguna dapat memantau kondisi suhu dan pH air, mengubah parameter sistem[4][5].

Penelitian ini bertujuan untuk pengguna dapat secara otomatis mengatur kecepatan pompa berdasarkan kondisi lingkungan, sehingga menjaga keseimbangan nutrisi dan air yang optimal untuk pertumbuhan tanaman. Maka, pengguna juga dapat melakukan pemantauan sehingga mendukung pertumbuhan tanaman yang optimal dan konsisten dalam lingkungan hidroponik[6].

Beberapa penelitian sebelumnya hanya membahas pengendalian kecepatan motor DC menggunakan pengendali PI atau PID secara umum tanpa integrasi pemantauan jarak jauh berbasis IoT. Selain itu, hasil pengujian umumnya hanya menampilkan respon sistem tanpa membahas pengaruh parameter lingkungan terhadap hasil kontrol. Penelitian ini memiliki kebaruan (novelty) dengan menggabungkan pengendalian PID yang dituning menggunakan metode Ziegler-Nichols dan sistem pemantauan berbasis Internet of Things (IoT) melalui Telegram bot secara real-time. Pendekatan ini tidak hanya memungkinkan pengaturan kecepatan pompa air secara otomatis dan presisi, tetapi juga memberikan kemudahan bagi pengguna untuk memantau kondisi suhu, pH, dan TDS secara daring. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi dalam pengembangan sistem hidroponik cerdas yang efisien, adaptif, dan dapat diakses dari jarak jauh. Namun, belum ada penelitian yang secara spesifik membahas pengaruh tuning PID terhadap kestabilan laju aliran air pada sistem hidroponik berbasis ESP32 dengan integrasi Telegram. Oleh karena itu, penelitian ini menutup celah tersebut dengan merancang sistem kontrol PID yang terhubung IoT untuk mengatur pompa air secara real-time sekaligus menganalisis kinerja numeriknya (error, overshoot, dan waktu steady-state).

1.1. Hidroponik

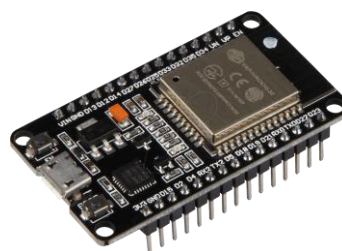
Hidroponik adalah salah satu metode dalam budidaya tanaman dengan memanfaatkan air tanpa menggunakan media tanah dengan menekankan pada pemenuhan kebutuhan hara nutrisi bagi tanaman. Kebutuhan air pada hidroponik lebih sedikit daripada kebutuhan air pada budidaya dengan tanah. [7].



Gambar 1. Hidroponik

1.2. ESP 32

ESP32 adalah sebuah mikrokontroler yang dikembangkan oleh Espressif Systems, yang dirancang untuk aplikasi IoT (Internet of Things), sistem tertanam, dan perangkat pintar. ESP32 adalah penerus dari ESP8266 yang sangat populer, namun memiliki kemampuan yang jauh lebih canggih dan fleksibel. Mikrokontroler ini dilengkapi dengan modul Wi-Fi dan Bluetooth terintegrasi, yang membuatnya menjadi pilihan ideal untuk proyek-proyek yang membutuhkan komunikasi nirkabel[8].



Gambar 2. ESP 32

1.3. Sensor Water Flow YF-S201

Sensor Water Flow YF-S201 adalah alat yang digunakan untuk mengukur laju aliran suatu fluida dalam sebuah sistem. Fluida tersebut bisa berupa cairan, gas, atau campuran keduanya. Sensor Water Flow YF-S201 bekerja dengan berbagai prinsip, tergantung pada jenis dan aplikasi spesifiknya, tetapi tujuan utamanya adalah untuk memberikan data kuantitatif mengenai volume atau massa fluida yang bergerak melalui suatu titik dalam waktu tertentu[9].



Gambar 3. Sensor YF-S201

1.4. Sensor Suhu DS18B20

Sensor DS18B20 adalah sensor suhu digital yang populer dan dapat diandalkan, sering digunakan dalam berbagai aplikasi untuk mengukur suhu lingkungan dengan akurasi tinggi. Sensor ini menggunakan teknologi 1-Wire, yang memungkinkan komunikasi data dengan mikrokontroler atau sistem lainnya menggunakan satu jalur data (selain daya dan ground). DS18B20 dikenal karena kemudahan integrasinya, akurasi pengukuran suhu yang tinggi, serta kemampuannya untuk beroperasi dalam rentang suhu yang luas, mulai dari -55°C hingga +125°C[10].



Gambar 4. Sensor suhu DS18B20

1.5. Sensor pH-4502C

Sensor PH-4502C adalah sensor pH yang digunakan untuk mengukur konsentrasi ion hidrogen (pH) dalam larutan. Sensor ini menggunakan prinsip elektrokimia, di mana perubahan pH larutan mempengaruhi potensial listrik yang dihasilkan oleh elektroda kaca yang dilapisi dengan membran khusus. Potensial listrik ini kemudian diukur dan dikonversikan menjadi nilai pH menggunakan sistem elektronik yang terintegrasi dalam sensor. Sensor PH-4502C umumnya memiliki rentang pengukuran pH antara 0 hingga 14, tergantung pada kondisi larutan dan kalibrasi sensor. Keakuratan pengukuran sensor ini biasanya dalam rentang ± 0.1 hingga ± 0.01 pH, membuatnya cocok untuk aplikasi yang memerlukan pemantauan pH yang presisi, seperti dalam industri pengolahan, laboratorium, dan pertanian hidroponik[11].



Gambar 5. Sensor pH-4502C

1.6. Sensor TDS

Sensor TDS (Total Dissolved Solids) adalah perangkat yang digunakan untuk mengukur jumlah padatan terlarut dalam air. Padatan terlarut mencakup partikel yang tidak dapat disaring seperti ion-ion mineral (kalsium, magnesium, natrium), garam, logam berat, serta bahan organik lainnya. TDS biasanya dinyatakan dalam satuan ppm (parts per million), yang menunjukkan jumlah miligram zat terlarut dalam satu liter air. Pengukuran TDS sangat penting dalam berbagai aplikasi untuk mengevaluasi kualitas air, seperti pada sistem pengolahan air, hidroponik, akuakultur, dan industri makanan[12].



Gambar 6. Sensor TDS

1.7. Internet of Things

Internet of Things (IoT) adalah konsep yang mengacu pada jaringan perangkat fisik yang saling terhubung dan dapat berkomunikasi satu sama lain melalui internet. Perangkat-perangkat ini bisa berupa sensor, perangkat elektronik, mesin, kendaraan, atau benda lainnya yang dilengkapi dengan teknologi seperti sensor dan perangkat lunak yang memungkinkan mereka untuk mengumpulkan, mengirim, dan menerima data[13].

1.8. Telegram

Telegram merupakan aplikasi yang bisa digunakan untuk berkirim pesan instan, di mana layanan ini bisa diakses oleh siapa saja dan tidak dipungut biaya sama sekali. Jika menggunakannya, pengguna cukup Telegram dan melengkapi semua data yang dibutuhkan untuk bisa menggunakannya dengan mudah. Telegram sendiri hadir dan bisa digunakan dalam berbagai perangkat yang berbeda, baik itu untuk smartphone dan juga web Telegram yang bisa digunakan pada perangkat komputer maupun laptop. Hal ini akan memudahkan pengguna untuk menikmati layanan pesan instan ini sesuai dengan kebutuhan mereka. Telegram dan Telegram web diciptakan di tahun 2013 oleh Nikolai Durov dan Pavel Durov, dua orang bersaudara yang berasal dari Rusia. Ini bukanlah karya pertama keduanya, sebab mereka berdua memang sudah malang melintang dan memiliki banyak pengalaman di dunia teknologi itu sendiri.[14].



Telegram

Gambar 7. Telegram

1.9. Kontroler PID

Kontroler PID (Proportional-Integral-Derivative) adalah jenis pengendali umpan balik yang banyak digunakan dalam sistem kontrol otomatis. Kontroler ini digunakan untuk mengatur berbagai proses industri agar mencapai kondisi yang diinginkan dengan mengoreksi kesalahan antara nilai yang diukur dan nilai yang diinginkan[15].

1.10. Penelitian Terdahulu

Kajian terhadap penelitian sebelumnya dilakukan untuk mengidentifikasi perkembangan terkini dalam bidang kendali PID dan sistem hidroponik berbasis IoT. Tabel 1 berikut merangkum beberapa penelitian yang relevan serta menunjukkan posisi kebaruan penelitian ini.

Tabel 1. Penelitian terdahulu

Peneliti	Fokus Penelitian	Kelebihan	Kekurangan
Muhamad Ilham Esario & Muldi Yuhendri	Mengendalikan kecepatan motor DC di laboratorium menggunakan kontroler PI dan DC chopper satu kuadran.	Respon motor cepat dan stabil, validasi eksperimen laboratorium.	Tidak menggunakan IoT, kontrol PI kurang presisi, hanya pengujian laboratorium.
Panji Hidayatullah, Mira Orisa, Ali Mahmudi	Monitoring pH, suhu, dan TDS menggunakan NodeMCU; pengiriman data ke internet.	Integrasi multi-sensor dan pemantauan jarak jauh; sistem mudah digunakan.	Belum ada kontrol otomatis pompa atau pengaturan debit air.
Tannia Paramitha, Mila fauziyah, Hari kurnia safitri	Menerapkan PID untuk mengatur motor DC pada sistem pengadukan pupuk cair.	Aplikasi nyata di pertanian; hasil pengendalian stabil.	Belum menggunakan IoT atau sistem pemantauan jarak jauh.

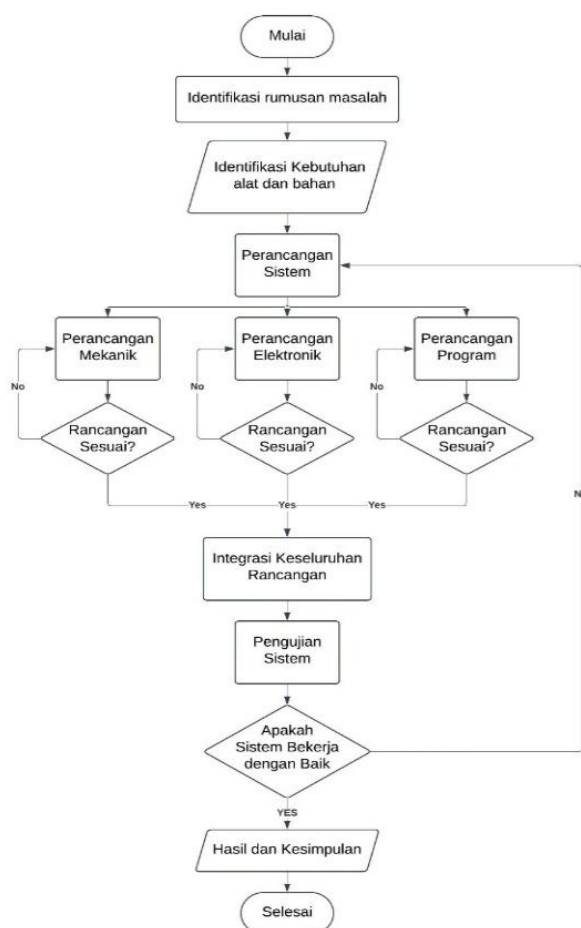
2. Metode

2.1. Diagram Alir Penelitian

Dari gambar diagram alir penelitian, dapat dijelaskan sebagai berikut:

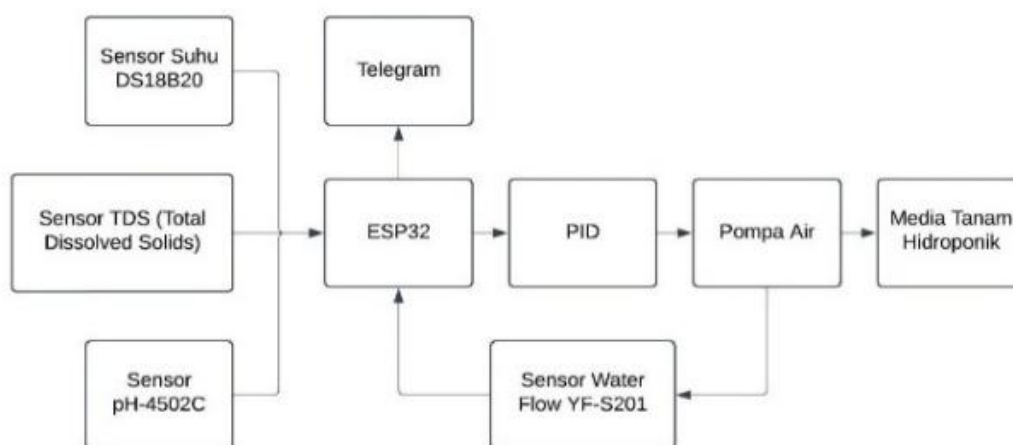
1. Identifikasi rumusan masalah.
Merupakan tahap awal penelitian dalam indentifikasi masalah dan menentukan rumusan masalah pada penelitian yang dilakukan.
2. Studi literatur.
Merupakan kumpulan tinjauan pustaka yang dapat memperkuat masalah yang akan dibahas pada penelitian ini agar dapat dilaksanakan dan memberikan petunjuk untuk meminimalisir kesalahan dalam penelitian.
3. Identifikasi kebutuhan alat dan bahan.
Yaitu menyediakan alat dan bahan yang akan digunakan dalam perancangan alat pada penelitian ini.
4. Perancangan sistem.

5. Merupakan tahapan perancangan yang terdiri dari rancangan mekanik, rancangan elektronik, dan rancangan program.
6. Integrasi keseluruhan sistem.
Merupakan tahapan hubungan penggabungan perancangan sistem.
7. Pengujian system.
Dilakukan untuk melihat kinerja dari setiap komponen perancangan elektronik pada penelitian ini.
8. Hasil dan pembahasan.
Merupakan hasil dari pembacaan data yang didapat pada hasil pengujian berupa hasil dari pengujian fungsional konfigurasi keseluruhan perancangan pada media tanam hidroponik.
9. Penarikan kesimpulan.
Merupakan kesimpulan pada hasil penelitian yang sudah dilakukan sesuai dengan tujuan penelitian.



Gambar 8. Diagram Alir Penelitian

2.2. Blok Diagram Sistem



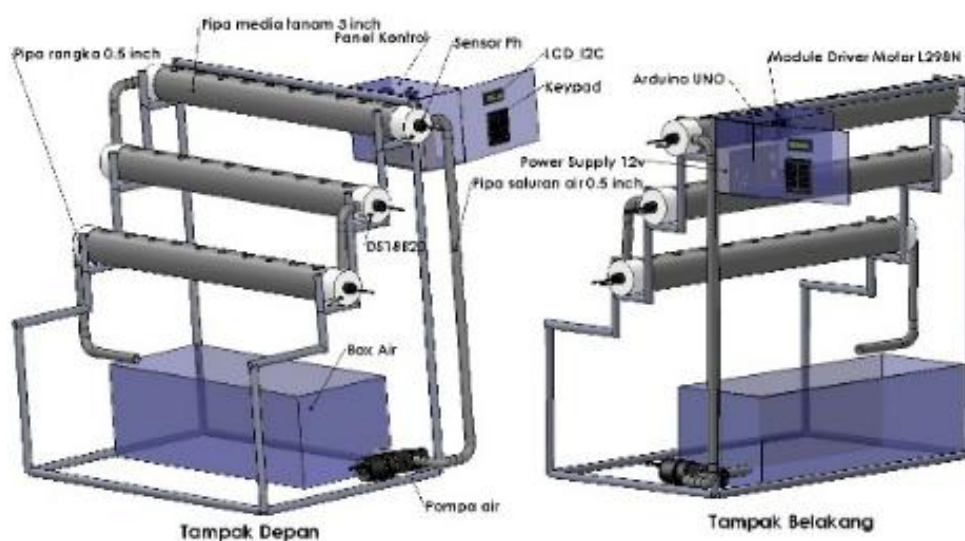
Gambar 9. Blok diagram sistem

Sistem hidroponik ini menggunakan sensor suhu DS18B20, sensor TDS, dan sensor pH PH-4502C untuk memantau parameter penting seperti suhu, konsentrasi nutrisi, dan tingkat keasaman larutan. Data dari sensor dikirim ke mikrokontroler ESP32 untuk diproses dan dapat dipantau secara daring melalui platform ThingSpeak dan Telegram. Sensor waterflow YF-S201 digunakan untuk mengukur aliran air, sementara kontrol pompa dilakukan menggunakan metode PID agar distribusi air dan nutrisi tetap stabil. Pompa air mengalirkan larutan ke media tanam yang menjadi tempat tumbuhnya tanaman. Sistem ini dirancang untuk menjaga kondisi optimal secara otomatis guna mendukung pertumbuhan tanaman.

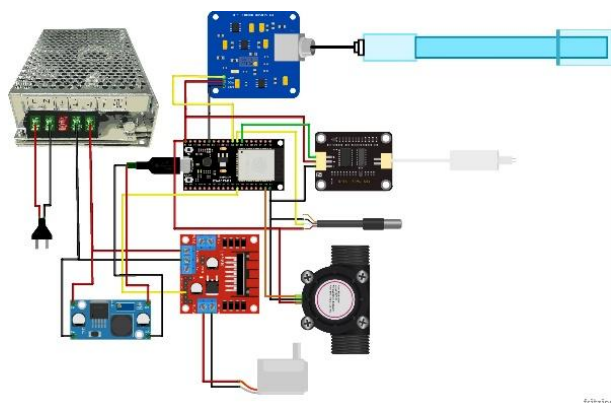
2.3. Perancangan Sistem

Perancangan prototype alat berupa panel kontrol berukuran 40x15x10 cm³ terbuat dari akrilik setebal 2 mm dan dilengkapi penutup di sisi depan untuk melindungi komponen elektronik di dalamnya. Alat ini terintegrasi dengan media tanam hidroponik berukuran 1x1 meter yang menggunakan sistem pengaliran air untuk memenuhi kebutuhan nutrisi tanaman. Suplai air disediakan melalui box air berukuran 80x30x20 cm yang berfungsi sebagai wadah utama dalam sistem sirkulasi. Berikut adalah gambar dari perancangan alat pada penelitian ini.

Sistem elektronik dirancang untuk menghubungkan semua sensor dengan ESP32, di mana output PWM dari ESP32 mengendalikan kecepatan motor DC melalui L298N. Sensor suhu, pH, dan TDS memantau kondisi larutan, sementara data kecepatan air dibaca dari waterflow sensor. Semua data dikirim ke platform Telegram menggunakan koneksi Wi-Fi bawaan ESP32, yang dapat dilihat pada gambar 11.

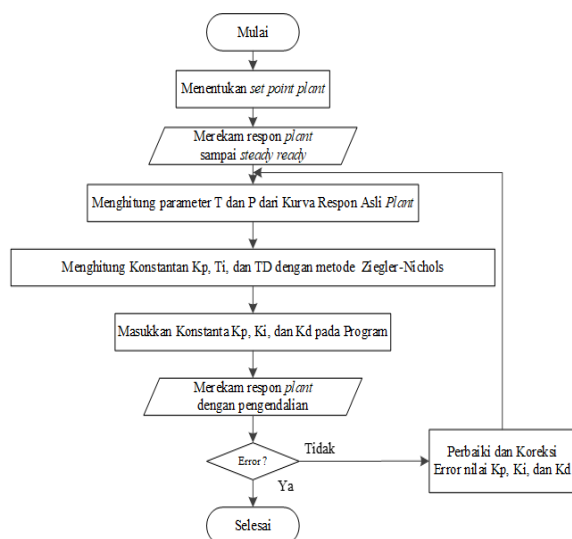


Gambar 10. Perancangan mekanik



Gambar 11. Perancangan elektronik

Diagram alir perancangan pengendali PID dan diagram alir perancangan program adalah dua hal yang berbeda, tetapi keduanya berhubungan dalam konteks pengembangan sistem kontrol menggunakan PID. Diagram alir perancangan pengendali PID adalah representasi visual yang mendokumentasikan strategi pengendalian yang akan digunakan dalam sistem. Ini mencakup pemikiran dan perencanaan tentang bagaimana kontroler PID akan diatur, parameter PID yang akan digunakan, serta bagaimana pengendalian akan berinteraksi dengan sistem fisik. Diagram alir ini membantu dalam memahami prinsip-prinsip dasar kontrol PID dalam konteks sistem sebelum mulai menulis kode. Berikut adalah bentuk diagram alir perancangan kendala PID pada Gambar 12.



Gambar 12. Diagram alir perancangan PID

Cara kerja alat pada penelitian ini bekerja dengan memanfaatkan mikrokontroler yang terhubung ke internet untuk mengontrol kecepatan aliran air melalui pompa. Mikrokontroler ini, yang bisa menggunakan ESP8266 atau ESP32, dihubungkan ke jaringan WiFi dan terintegrasi dengan driver motor yang mengatur kecepatan pompa

menggunakan sinyal PWM (Pulse Width Modulation). Pengguna dapat mengakses antarmuka website yang dirancang sebagai pengendali utama. Pada website ini, terdapat pengaturan yang memungkinkan pengguna untuk memilih kecepatan aliran air sesuai kebutuhan, misalnya dari 0 hingga 100 persen. Ketika pengguna mengatur kecepatan pompa di website, data ini dikirimkan ke mikrokontroler melalui API, dan mikrokontroler kemudian mengatur sinyal PWM pada pompa untuk menyesuaikan kecepatan sesuai dengan nilai yang dipilih.

3. Hasil dan Pembahasan

A. Pengujian Alat

1) Pengujian Kinerja Sensor

Pengujian dilakukan secara bertahap, dimulai dari pengujian kinerja setiap sensor, pengujian aktuatur (driver L298N dan pompa), hingga analisis kinerja sistem kontrol PID secara keseluruhan. Pendekatan ini dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh komponen elektronik dan perangkat lunak berfungsi terintegrasi sebagai satu sistem otomatis berbasis IoT.

Tabel 2. Pengujian Sensor Suhu

Suhu	Sensor DS18B20	HTC 2	Selisih	Error %
	32,10	32	0,10	0,31%
	32,05	32	0,05	0,16%
	32,02	32	0,02	0,06%
	32,00	32	0	0,00%
	32,01	32	0,01	0,03%
Rata-Rata	32,03	32	0,036	0,11%
	35,01	35	0,01	0,03%
	35,03	35	0,03	0,09%
	35,01	35	0,01	0,03%
	35,12	35	0,12	0,34%
	35,02	35	0,02	0,06%
Rata-Rata	33,03	35	0,038	0,11%

Berdasarkan hasil dari table 1. Kemudian dihitung persentase error nya maka didapat hasil rata ratanya untuk suhu air 32°C sebanyak 0,11%. Sedangkan untuk suhu air 35°C didapat persentase error antara sensor suhu DS18B20 dengan alat ukur HTC sebanyak 0,11% juga.

Tabel 3. Pengujian Sensor pH-4502C

pH Air	Sensor pH	pH Meter	Selisih	Error %
	4,06	4,01	0,05	1,25%
	4,03	4,01	0,02	0,50%
	4,07	4,01	0,06	1,50%
	4,04	4,01	0,03	0,75%
	4,05	4,01	0,04	1,00%
Rata-Rata	4,05	4,01	0,04	1,00%
	6,90	6,86	0,04	0,58%
	6,93	6,86	0,07	1,02%
	6,91	6,86	0,05	0,73%
	6,97	6,86	0,09	1,31%
	6,90	6,86	0,04	0,58%
Rata-Rata	6,92	6,86	0,058	0,85%

Berdasarkan Tabel 2. setelah dilakukan pengujian pengujian perbandingan hasil parameter yang didapat dengan cara mengukur pH air menggunakan Sensor pH-4502C dan pH meter, maka didapatkan hasil persentase error rata-rata untuk pH 4,01 yaitu 1% sedangkan untuk pengujian pada pH 6 memiliki persentase error sebanyak 0,85%.

Tabel 4. Pengujian Sensor TDS

Kualitas Air (PPM)	Sensor TDS (PPM)	TDS Meter (PPM)	Selisih (PPM)	Error %
251	251,23	251	0,23	0,09%
	251,23	251	0,23	0,09%
	251,56	251	0,56	0,22%
	251,21	251	0,21	0,08%
	251,27	251	0,27	0,11%
Rata-Rata	251,30	251	0,30	0,12%
602	602,15	602	0,15	0,02%
	602,12	602	0,12	0,02%
	602,15	602	0,15	0,02%
	602,15	602	0,15	0,02%
	602,13	602	0,13	0,02%
Rata-Rata	602,14	602	0,14	0,02%

Berdasarkan Tabel 3. setelah dilakukan pengujian pengujian perbandingan hasil parameter yang didapat dengan cara mengukur TDS air menggunakan Sensor TDS dan TDS meter, maka didapatkan hasil persentase error rata-rata untuk TDS 251 yaitu 0,12% sedangkan untuk pengujian pada TDS 602 memiliki persentase error sebanyak 0,02%.

Tabel 5. Hasil Pengujian Modul Driver L298N

PWM	Tanpa Pompa Air		Dengan Pompa Air		Keterangan Pompa
	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)	
0	0,00 V	0,00 A	0,00 V	0,00 A	Tidak Berputar
5	0,70 V	0,13 A	0,01 V	2,13 A	Hanya Berdengung
10	0,94 V	0,13 A	0,03 V	2,14 A	Hanya Berdengung
15	1,17 V	0,13 A	0,06 V	2,15 A	Hanya Berdengung
20	1,41 V	0,13 A	0,1 V	2,16 A	Hanya Berdengung
25	1,64 V	0,13 A	0,14 V	2,18 A	Hanya Berdengung
35	2,11 V	0,13 A	0,22 V	2,23 A	Hanya Berdengung
45	2,58 V	0,13 A	0,45 V	2,37 A	Hanya Berdengung
65	3,52 V	0,13 A	0,57 V	2,46 A	Hanya Berdengung
75	3,99 V	0,13 A	0,68 V	2,56 A	Hanya Berdengung
85	4,45 V	0,13 A	0,81 V	2,60 A	Hanya Berdengung
95	4,93 V	0,13 A	0,94 V	2,62 A	Hanya Berdengung
100	5,51 V	0,13 A	0,98 V	2,65 A	Hanya Berdengung
115	5,85 V	0,13 A	5,71 V	2,67 A	Berputar Pelan
125	6,32 V	0,13 A	6,12 V	2,71 A	Berputar Pelan

Tabel 5. Lanjutan

135	6,78 V	0,13 A	6,50 V	2,75 A	Berputar Pelan
145	7,25 V	0,13 A	6,95 V	2,77 A	Berputar Pelan
155	7,72 V	0,13 A	7,27 V	2,80 A	Berputar Pelan
165	8,18 V	0,13 A	7,73 V	2,83 A	Berputar Pelan
175	8,64 V	0,13 A	8,12 V	2,96 A	Berputar Sedang
185	9,11 V	0,13 A	8,54 V	2,98 A	Berputar Sedang
195	9,58 V	0,13 A	8,84 V	3,02 A	Berputar Sedang
205	10,05 V	0,13 A	9,45 V	3,05 A	Berputar Kencang
115	10,51 V	0,13 A	9,75 V	3,09 A	Berputar Kencang
225	10,97 V	0,13 A	9,93 V	3,12 A	Berputar Kencang
235	11,38 V	0,13 A	10,00 V	3,33 A	Berputar Kencang
245	11,72 V	0,13 A	10,48 V	3,45 A	Berputar Kencang
255	11,85 V	0,13 A	10,78 V	3,58 A	Berputar Kencang

Berdasarkan table 4. Setelah dilakukan pengujian pompa air menggunakan module driver L298N maka hasilnya menunjukkan bahwa pompa air mulai beroperasi saat PWM mencapai 115, dengan tegangan dan arus cukup untuk mengatasi beban awal. Semakin tinggi nilai PWM, tegangan dan arus meningkat, sehingga pompa berputar lebih cepat. Tanpa beban, arus tetap konstan di 0,13 A meski tegangan naik. Kesimpulannya, performa pompa sangat dipengaruhi oleh tegangan input, dan arus meningkat seiring beban, menandakan konsumsi daya yang lebih besar. Pengaturan tegangan yang tepat penting untuk efisiensi dan mencegah kerusakan sistem.

2) Pengujian Tuning PID

Penelitian ini melakukan tuning PID dengan menguji pengaruh nilai PWM terhadap kecepatan aliran air pada media tanam hidroponik. Pengujian dilakukan dengan menyalakan pompa melalui driver L298N, mencatat kecepatan aliran air, dan mendokumentasikan perubahan waktunya. Data dari Tabel 5. digunakan untuk menganalisis hubungan antara PWM dan respon aliran air sebagai dasar pengaturan kecepatan pompa.

Pada *tunning* parameter PID pada metode ini terdiri dari Kp, Ti, dan Td, dimana:

- Kp (*Proportional Gain*) 60% dari nilai proporsional yang dihitung berdasarkan perbandingan T dan L.
- Ti (*Integral Time*) 50% dari Tu, di mana Tu sama dengan konstanta waktu T.
- Td (*Derivative Time*) 12.5% dari Tu, Ini membantu menghaluskan perubahan respons system.

Tabel 6. Respon Laju Aliran Air Terhadap Nilai PWM

No	Nilai PWM	Kecepatan Aliran Air (L/m)	Durasi (detik)
1	235	3.40 L/m	1
2	235	3.80 L/m	2
3	235	4.00 L/m	3
4	235	4.00 L/m	4
5	235	4.00 L/m	5
6	235	4.00 L/m	6
7	235	4.00 L/m	7
8	235	4.20 L/m	8
9	235	4.00 L/m	9
10	235	4.00 L/m	10
11	235	4.00 L/m	11
12	235	4.20 L/m	12
13	235	4.00 L/m	13
14	235	4.20 L/m	14
15	235	4.00 L/m	15
16	235	4.00 L/m	16
17	235	4.20 L/m	17
18	235	4.00 L/m	18
19	235	4.00 L/m	19
20	235	4.00 L/m	20
21	235	4.00 L/m	21
22	235	4.00 L/m	22
23	235	4.20 L/m	23
24	235	4.00 L/m	24
25	235	4.20 L/m	25
26	235	4.00 L/m	26
27	235	4.00 L/m	27
28	235	4.20 L/m	28
29	235	4.00 L/m	29
30	235	4.00 L/m	30

Tabel 7. Hasil Tuning PID

Detik	PWM	Kecepatan Aliran Air (L/m)
1	205	3,75 L/m
2	215	3,87 L/m
3	235	4,00 L/m
4	245	4,55 L/m
5	255	5,00 L/m
6	245	4,55 L/m
7	235	4,00 L/m
8	215	3,87 L/m
9	235	4,00 L/m
10	235	4,00 L/m
11	235	4,00 L/m
12	235	4,00 L/m
13	235	4,00 L/m
14	235	4,00 L/m
15	235	4,00 L/m
16	235	4,00 L/m
17	235	4,00 L/m
18	235	4,00 L/m
19	235	4,00 L/m
20	235	4,00 L/m
21	235	4,00 L/m
22	235	4,00 L/m
23	235	4,00 L/m
24	235	4,00 L/m
25	235	4,00 L/m
26	235	4,00 L/m
27	235	4,00 L/m
28	235	4,00 L/m
29	235	4,00 L/m
30	235	4,00 L/m

Maka *tuning* PID yang didapatkan dengan metode *Ziegler Nichols* adalah sebagai berikut.

a. *Proportional (P) Control*

$$K_p = \frac{T}{L} = \frac{5,95}{0,551} = 10,80$$

b. *Proportional-Integral (PI) Control*

$$K_p = 0.9 \times \frac{T}{L} = 0.9 \times \frac{5,95}{0,551} = 9,72$$

$$T_i = \frac{L}{0,3} = 1,83$$

c. *PID Control*

$$K_p = 1,2 \times \frac{T}{L} = 1,2 \times \frac{5,95}{0,551} = 12,96$$

$$T_i = 2 \times L = 2 \times 0,551 = 1,102$$

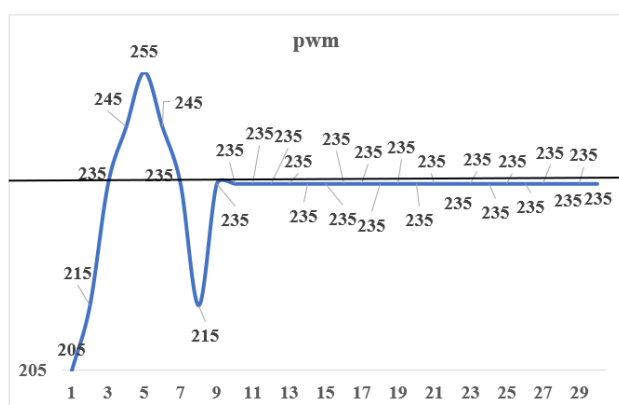
$$T_d = 0.5 \times L = 0.5 \times 0,551 = 0,2755$$

Berdasarkan pengamatan selama 30 detik Tabel 7, sistem kontrol PID menunjukkan kinerja baik dalam mengatur kecepatan aliran air sesuai setpoint 4,00 L/m. Setpoint tercapai stabil mulai detik ke-3 hingga ke-30. Pada fase awal terjadi overshoot hingga 5,00 L/m (25% di atas setpoint) ketika PWM mencapai 255, akibat respons cepat terhadap error awal. Setelah itu, sistem menyesuaikan diri dan mencapai kondisi steady state dalam 2–3 detik dengan PWM stabil di 235. Hal ini menunjukkan bahwa kontrol PID mampu memberikan respons cepat, akurat, dan stabil.

Konstanta KP mempercepat respons awal namun berpotensi menyebabkan overshoot, TI mengoreksi error jangka panjang untuk menghilangkan steady-state error, sedangkan TD menstabilkan sistem dengan meredam perubahan mendekati setpoint. Ketiganya bekerja bersama menghasilkan nilai PWM yang sesuai dengan kebutuhan sistem.

Metode PWM (Pulse Width Modulation) mengatur daya motor dengan mengubah duty cycle, yaitu perbandingan waktu sinyal ON terhadap total siklus. Pada PWM 255 (100% duty cycle), pompa mendapat daya penuh dan menghasilkan aliran 5,00 L/m. Setelah koreksi oleh PID, nilai PWM disesuaikan menjadi 235 ($\pm 92\%$ duty cycle), menghasilkan aliran stabil 4,00 L/m sesuai target sistem.

Dengan duty cycle sebesar 92%, motor menerima daya dalam durasi yang optimal cukup besar untuk mencapai setpoint namun tidak berlebihan hingga menimbulkan overshoot. Melalui pengaturan duty cycle inilah PWM bekerja secara efektif, dan kontrol PID menyesuaikannya secara real-time berdasarkan selisih antara output aktual dan nilai target. Hasilnya, sistem dapat menjaga kecepatan aliran air tetap stabil, efisien, dan akurat sesuai dengan kebutuhan yang telah ditentukan. Grafik hasil respon tuning PID dapat dilihat pada gambar 13.



Gambar 13. Grafik Hasil Tuning PID

3) Hasil Pertumbuhan Selada

Tabel 8. Hasil Pertumbuhan Selada

Hari	PWM	Kecepatan Aliran Air (L/m)	Suhu (°C)	pH	Kualitas Air (PPM)	Tinggi Selada	Lebar Daun Selada
1	235	4	24	6,2	580	2	1,5
2	235	4	24	6,2	580	2,5	2
3	235	4	24	6,1	590	3	2,3
4	235	4	24	6,1	600	3,5	2,6
5	235	4	24,5	6	610	4	3
6	235	4	24,5	6	620	5	3,5
7	235	4	24	6	630	6	4
8	235	4	24	5,9	650	7	5
9	235	4	24	5,9	670	8	6
10	235	4	24	5,9	680	9	6,5
11	235	4	24	5,9	700	10	7
12	235	4	24,5	5,8	710	11,5	8
13	235	4	24,5	5,8	730	13	9
14	235	4	24,5	5,8	740	14,5	10
15	235	4	25	5,8	760	16	11,5
16	235	4	25	5,9	770	17,5	13
17	235	4	25	5,9	790	19	14
18	235	4	25	5,9	810	20,5	15
19	235	4	24,5	6	820	22	16,5
20	235	4	24,5	6	830	23,5	18
21	235	4	24	6,1	840	25	19
22	235	4	24	6,2	850	26	20
23	235	4	24	6,3	860	27	21
24	235	4	24	6,3	870	27,5	22
25	235	4	24	6,3	880	28	23
26	235	4	24	6,4	890	28,5	24
27	235	4	24	6,4	900	29	24,5
28	235	4	24	6,5	910	29,5	25
29	235	4	24	6,5	920	30	25,5
30	235	4	24	6,5	930	30,5	26

Tabel menunjukkan bahwa pengaturan PWM 235 berhasil menjaga suhu ruangan stabil di kisaran ideal 24,2–24,8°C untuk pertumbuhan Selada. Suhu ini mendukung fotosintesis tanpa menyebabkan stres tanaman. pH air sedikit turun dari 6,5 ke 6,3 namun masih dalam batas optimal. Kualitas air tetap stabil. Selama empat hari pertama, tinggi Selada meningkat dari 1200 mm ke 1350 mm dan lebar daun dari 0,5 cm ke 1,5 cm, menandakan pertumbuhan yang baik berkat kondisi lingkungan yang terjaga.

4) Pengaruh Suhu, pH dan TDS Terhadap Tanaman Selada

Tabel 9. Pengaruh Suhu Terhadap Tanaman Selada

Suhu Air (°C)	Pengaruh Terhadap Tanaman Selada	Penampilan Tanaman Selada
<18°C	Pertumbuhan lambat dan tanaman mengalami stres dingin.	Daun kecil, warna cenderung gelap dan pertumbuhan tanaman lambat.
18–24°C	Pertumbuhan tanaman optimal.	Daun lebar, hijau cerah, tumbuh cepat dan simetris.
>24°C	Pertumbuhan menurun dan tanaman mengalami pembusukan akar.	Daun cepat layu, pucat, bisa muncul bercak coklat, tanaman memanjang (etiolasi).

Berdasarkan table 8. yang bertujuan untuk mencari tahu bagaimana pengaruh suhu air terhadap tanaman selada maka hasilnya menunjukkan suhu air berpengaruh besar pada pertumbuhan selada. Suhu di bawah 18°C menyebabkan pertumbuhan lambat dan stres dingin, ditandai daun kecil dan gelap. Suhu optimal 18–24°C mendukung pertumbuhan cepat, daun lebar, dan warna hijau cerah. Di atas 24°C, risiko pembusukan akar meningkat, menyebabkan daun layu, pucat, dan pertumbuhan tidak normal. Karena itu, pengelolaan suhu air sangat penting untuk hasil optimal.

Tabel 10. Pengaruh pH Terhadap Tanaman Selada

pH Air	Pengaruh Terhadap Tanaman Selada	Penampilan Tanaman Selada
<5	Terlalu asam dan pertumbuhan tanaman terganggu.	Daun kecil, keriting, ujung kering/coklat, pertumbuhan sangat lambat.
5,5–6,5	Pertumbuhan tanaman optimal.	Daun lebar, segar, warna hijau cerah, pertumbuhan cepat dan seragam.
>7	Basa dan risiko defisiensi nutrisi mikro.	Daun kuning pucat (klorosis), pertumbuhan terhambat, bentuk tanaman memanjang lemah

Berdasarkan Tabel 9. maka pH air sangat memengaruhi pertumbuhan selada. pH < 5 terlalu asam, menyebabkan daun kecil, keriting, dan pertumbuhan lambat. pH 5,5–6,5 adalah kisaran optimal, ditandai dengan daun lebar, hijau cerah, dan pertumbuhan cepat. pH > 7 bersifat basa, bisa menyebabkan defisiensi nutrisi, daun menguning, dan tanaman tumbuh lemah. Karena itu, menjaga pH tetap optimal penting untuk kualitas dan pertumbuhan selada.

Tabel 11. Pengaruh TDS Terhadap Tanaman Selada

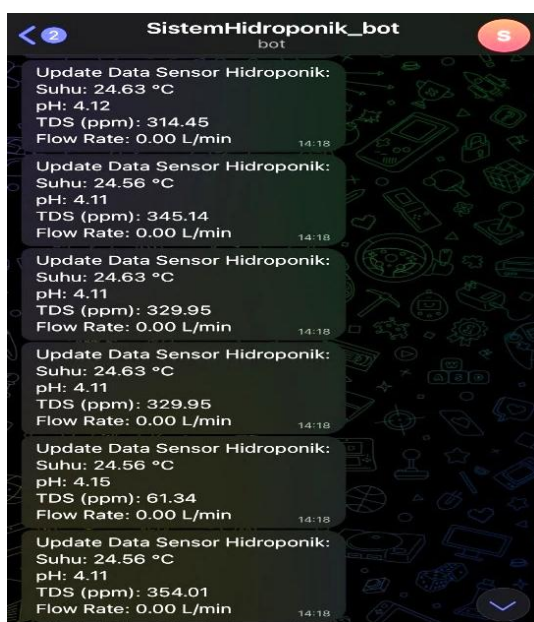
TDS (PPM)	Pengaruh Terhadap Tanaman Selada	Penampilan Tanaman Selada
<400	Nutrisi sangat kurang (defisiensi makro) dan tanaman tampak kurus.	Daun kecil, pucat, dan pertumbuhan sangat lambat.
560–840	Kondisi ideal, nutrisi seimbang dan penyerapan maksimal.	Daun lebar, segar, warna hijau cerah, pertumbuhan optimal.
>1000	Kelebihan nutrisi berat akibatnya akar terbakar dan tanaman bisa layu total	Daun mengering, keriting, tanaman kerdil atau mati mendadak.

Berdasarkan Tabel 10. Maka hasil yang didapat menunjukkan TDS air nutrisi sangat berpengaruh pada pertumbuhan selada. TDS < 400 ppm menyebabkan kekurangan nutrisi, ditandai tanaman kurus, daun kecil dan pucat. Kisaran optimal 560–840 ppm mendukung pertumbuhan maksimal dengan daun lebar dan hijau cerah. TDS > 1000 ppm menyebabkan kelebihan nutrisi, risiko akar terbakar, daun kering dan keriting, hingga kematian tanaman. Oleh karena itu, menjaga TDS dalam batas optimal penting untuk pertumbuhan selada yang sehat.

5) Integrasi IOT

Pengaturan kecepatan pompa air DC pada media tanam hidroponik berbasis IoT memudahkan monitoring dan pengendalian real-time melalui Telegram. Sistem ini memungkinkan pengguna memantau suhu, pH, dan kualitas air, serta mengontrol perangkat dari jarak jauh dengan antarmuka yang user-friendly, sehingga pengelolaan sistem menjadi lebih fleksibel dan praktis.

Sistem monitoring otomatis berbasis bot Telegram memudahkan pengawasan parameter lingkungan hidroponik secara real-time, termasuk suhu, pH, TDS, dan flow rate. Bot bernama *SistemHidroponik_bot* mengirimkan data berkala ke pengguna. Hasil pengujian menunjukkan suhu stabil di kisaran 24,56–24,63°C, pH rendah (4,11–4,15), dan TDS bervariasi antara 61,34–354,01 ppm. Namun, flow rate terdeteksi 0,00 L/min, menandakan tidak ada aliran, yang perlu ditindaklanjuti. Sistem ini meningkatkan efisiensi dan kenyamanan monitoring, serta memungkinkan deteksi dini gangguan. Ke depannya, sistem dapat dikembangkan dengan AI untuk memberi rekomendasi otomatis dalam pengelolaan hidroponik.



Gambar 14. Hasil Integrasi IoT Hidroponik

4. Kesimpulan

Sistem Internet of Things (IoT) berhasil dirancang dan diimplementasikan dengan baik untuk mengontrol kecepatan pompa air DC secara otomatis pada media tanam hidroponik. Dengan pengontrolan ini, distribusi air dan nutrisi ke tanaman dapat dilakukan secara optimal dan tepat sesuai kebutuhan tanaman, sehingga mendukung pertumbuhan yang sehat dan efisien. Selain itu, integrasi teknologi IoT dalam sistem ini memungkinkan pemantauan parameter lingkungan penting seperti suhu larutan, tingkat keasaman (pH), dan kualitas air secara real-time melalui platform berbasis Telegram. Hal ini memberikan kemudahan akses bagi pengguna untuk memantau kondisi sistem hidroponik kapan saja dan di mana saja melalui notifikasi langsung, serta menjaga lingkungan tumbuh agar selalu berada dalam kondisi yang ideal untuk tanaman. Penerapan algoritma kontrol Proportional-Integral-Derivative (PID) pada sistem pengendalian pompa air terbukti sangat efektif dalam memberikan respons yang cepat, stabil, dan efisien terhadap perubahan kondisi di lapangan. Dengan algoritma PID ini, kesalahan distribusi air dapat diminimalkan sehingga pasokan air dan nutrisi selalu sesuai dengan kebutuhan tanaman. Secara keseluruhan, perpaduan antara teknologi IoT dan kontrol PID dalam sistem ini tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional hidroponik tetapi juga meningkatkan kualitas dan hasil panen tanaman secara signifikan. Sistem ini diharapkan dapat menjadi solusi modern dan praktis dalam pengelolaan budidaya tanaman hidroponik secara otomatis dan cerdas.

Referensi

- [1]. syakir, "Pertanian sebagai pendukung ekonomi indonesia," *Pertan. Sebagai Pendukung Ekon. Indones.*, no. December, hal. 3, 2021.
- [2]. C. N. Harsela, "Sistem Hidroponik Menggunakan Nutrient Film Technique Untuk Produksi dan Hasil Tanaman Selada (*Lactuca sativa* L.)," *Syntax Lit. ; J. Ilm. Indones.*, vol. 7, no. 11, hal. 17136–17144, 2022, doi: 10.36418/syntax-literate.v7i11.11983.
- [3]. P. Tsunami, D. I. Kabupaten, dan A. Besar, "KETERSEDIAAN LAHAN PERTANIAN PADI SAWAH PASCA TSUNAMI DI KABUPATEN ACEH BESAR Oleh: Elvira Iskandar*," no. 1, hal. 54–59, 2013.
- [4]. I. Hudati, A. P. Aji, dan S. Nurrahma, "Kendali Posisi Motor DC dengan Menggunakan Kendali PID," *J. List. Instrumentasi dan Elektron. Terap.*, vol. 2, no. 2, hal. 1–6, 2021, doi: 10.22146/juliet.v2i2.71148.
- [5]. Y. A. Putra dan M. Yuhendri, "Smart Monitoring Pompa Air Otomatis Berbasis Human Machine Interface Dan Internet Of Things," vol. 4, no. 2, 2023.
- [6]. D. Hidayat dan I. Sari, "MONITORING SUHU DAN KELEMBABAN BERBASIS INTERNET of THINGS (IoT)," *J. Teknol. Dan Ilmu Komput. Prima*, vol. 4, no. 1, hal. 525–530, 2021, doi: 10.34012/jutikomp.v4i1.1676.
- [7]. R. Rosliani dan N. Sumarni, "Budidaya Tanaman Sayuran dengan Sistem Hidroponik," *Monografi*, no. 27, hal. 1–38, 2005.

- [8]. I. O. T. Menggunakan dan M. Esp, "No Title," vol. 7, no. 2, hal. 174–183, 2023.
- [9]. N. Muamaroh dan W. Christanto, "Pengukur Penggunaan Air Otomatis Menggunakan WaterFlow Sensor YF-S201 Dan NodeMCU ESP8266 Berbasis IoT IoT Based Automatic Water Usage Measurement System Using YF-S201 WaterFlow Sensor and NodeMCU ESP8266," no. 1, hal. 88–99, 2024, doi: 10.26798/jiko.v8i1.1104.
- [10]. N. Latekeng, "Monitoring Kualitas Air Sungai (Kekeruhan , Suhu , TDS , pH) Menggunakan Mikrokontroler," vol. 6, 2024.
- [11]. T. Tarigan, "Analisis dan Aplikasi Sensor pH , Sensor TDS , Sensor NTU , dan Sensor Suhu dalam Pengukuran Kualitas Air," vol. 11, no. 5, hal. 5512–5514, 2024.
- [12]. A. Saputra, H. Nasbey, dan M. Subekti, "KARAKTERISASI SENSOR TDS SEN-0244 DAN SENSOR PH-4502C DALAM IMPLEMENTASINYA," vol. XII, hal. 145–150, 2024.
- [13]. M. K. Huda, M. A. Latif, M. R. Rifaldi, C. Wisely, Z. A. Muhsin, dan H. K. Fajri, "JURNAL ANGKA Pengaplikasian Internet Of Things (IoT) dalam Mata Kuliah Sistem Operasi di Prodi Teknik Informatika Universitas Negeri Semarang," vol. 1, no. 1, hal. 135–143, 2024.
- [14]. F. Fauziyah, C. W. Budiyanto, dan M. Lestari, "Evaluasi Penerapan ChatBot Telegram dalam Pembelajaran Dasar-dasar Kejuruan Menggunakan Gibb ' s Reflective Learning Cycle," vol. 5, no. 2, hal. 90–95, 2022.
- [15]. P. Seminar, N. Nciety, dan N. Conference, "Sistem Kontrol Proportional Integral Derivative (Pid) Untuk Mengatur Kecepatan Motor Dc Menggunakan Mikrokontroler," *Pros. Semin. Nas. NCIET*, vol. 1, no. 1, hal. 528–534, 2020, doi: 10.32497/nciet.v1i1.172.