

**Rancang Bangun Kontrol Kelembapan Tanah dan pH dengan
Mikrokontroler ESP32 Berbasis PID dan IoT untuk Tanaman
Selada**

Tugas Akhir

Disusun sebagai salah satu syarat untuk
menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan Diploma IV

Oleh

Irfan Muhammad Ardiresa

220341008



**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA MEKATRONIKA
JURUSAN TEKNIK OTOMASI MANUFAKTUR DAN MEKATRONIKA
POLITEKNIK MANUFAKTUR BANDUNG**

2026

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir yang berjudul:

**Rancang Bangun Kontrol Kelembapan Tanah dan pH dengan
Mikrokontroler ESP32 Berbasis PID dan IoT untuk Tanaman
Selada**

Oleh:

Irfan Muhammad Ardiresa
220341008

Telah direvisi, disetujui, dan disahkan sebagai Tugas Akhir penutup program
pendidikan Sarjana Terapan (Diploma IV)
Politeknik Manufaktur Bandung


Bandung, 15 Januari 2026

Disetujui,

Pembimbing I,

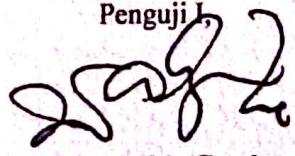

Nur Wisma Nugraha, S.MT.
NIP. 197406092003121002

Pembimbing II,

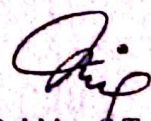

Faisal Abdulrahman Budikasih
S.Tr., M.Sc.Eng
NRP. 223411001

Disahkan,


Penguji I,


Wahyu Adhie Candra,
S.T., M.Sc.
NIP. 197701092023211004

Penguji II,


Ismail Rokhim, S.T., M.T.
NIP. 197002161993031001

Penguji III,


Dr. Setyawan Ajie Sukarno,
S.St., M.T., M.Sc.Eng
NIP. 198004282008101001

PERNYATAAN ORISINALITAS

Sebagai Civitas Akademika Politeknik Manufaktur Bandung, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Irfan Muhammad Ardiresa
NIM : 220341008
Jurusan : Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika
Program Studi : Teknologi Rekayasa Mekatronika
Jenjang Studi : Diploma 4
Jenis Karya : Tugas Akhir
Judul Karya : Rancang Bangun Kontrol Kelembapan Tanah dan pH dengan Mikrokontroler ESP32 Berbasis PID dan IoT untuk Tanaman Selada

Menyatakan bahwa:

1. Tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri (orisinal) atas bimbingan para Pembimbing.
2. Dalam tugas akhir ini tidak terdapat keseluruhan atau sebagian tulisan orang lain yang saya ambil dengan cara menyalin atau meniru dalam bentuk rangkaian kalimat atau simbol yang menunjukkan gagasan atau pendapat atau pemikiran dari penulis lain, yang saya akui seolah-olah sebagai tulisan saya sendiri, dan/atau tidak terdapat bagian atau keseluruhan tulisan yang saya salin, tiru, atau yang saya ambil dari tulisan orang lain tanpa memberikan pengakuan penulis aslinya (referensi).
3. Bila kemudian terbukti bahwa saya melakukan tindakan yang bertentangan dengan hal tersebut di atas, baik disengaja atau tidak, saya bersedia menerima akibatnya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung
Pada tanggal : 15 - 01 - 2026
Yang Menyatakan,



(Irfan Muhammad Ardiresa)
NIM 220341008

PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)

Sebagai Civitas Akademika Politeknik Manufaktur Bandung, saya yang bertanda tangan dibawah ini:


Nama : Irfan Muhammad Ardiresa
NIM : 220341008
Jurusan : Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika
Program Studi : Teknologi Rekayasa Mekatronika
Jenjang Studi : Diploma 4
Jenis Karya : Tugas Akhir
Judul Karya : Rancang Bangun Kontrol Kelembapan Tanah dan pH dengan Mikrokontroler ESP32 Berbasis PID dan IoT untuk Tanaman Selada

Menyatakan/menyetujui bahwa:

1. Segala bentuk Hak Kekayaan Intelektual terkait dengan tugas akhir tersebut menjadi milik Institusi Politeknik Manufaktur Bandung, yang selanjutnya pengelolaanya berada dibawah Jurusan dan Program Studi, dan diatur sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
2. Memberikan kepada Politeknik Manufaktur Bandung Hak Bebas Royalti Noneklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right) atas hasil tugas akhir saya tersebut. beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini, maka Politeknik Manufaktur Bandung berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama-nama Dosen Pembimbing dan nama saya sebagai anggota penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung
Pada tanggal : 15 - 01 - 2026
Yang Menyatakan,


(Irfan Muhammad Ardiresa)
NIM 220341008

MOTO PRIBADI

Kesalahan adalah guru, keberanian adalah teman seperjalanan.

Dengan segenap rasa Syukur yang tak terhitung, tugas akhir ini saya persembahkan untuk kedua orang tua saya tercinta, kakak dan adik saya, teman-teman saya dan semua pihak yang telah membantu saya menyelesaikan tugas akhir ini. *Jazakumullahu Khairan katsira*, semoga Allah membalas dengan pahala yang tiada terputus.

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah yang hanya kepadaNya kami memuji, memohon pertolongan, dan mohon keampunan. Kami berlindung kepadaNya dari kekejian diri dan kejahatan amalan kami. Barang siapa yang diberi petunjuk oleh Allah maka tidak ada yang dapat menyesatkan, dan barang siapa yang tersesat dari jalanNya maka tidak ada yang dapat memberinya petunjuk. Dan aku bersaksi bahwa tiada sembah yang berhak disembah melainkan Allah saja, yang tiada sekutu bagiNya. Dan aku bersaksi bahwa Muhammad adalah hambaNya dan RasulNya.

Atas petunjuk dan pertolongan-Nya, Alhamdulillah penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul: “Rancang Bangun Kontrol Kelembapan Tanah dan pH dengan Mikrokontroler ESP32 Berbasis PID dan IoT untuk Tanaman Selada”.

Tugas akhir dibuat dalam rangka memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan (Diploma-IV) pada Program Studi Teknologi Rekayasa Mekatronika di Politeknik Manufaktur Bandung.

Terselesaikannya tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya bagi semua pihak yang telah memberikan bantuan moril maupun materil baik langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini hingga selesai, terutama kepada yang saya hormati:

1. Direktur Politeknik Manufaktur Bandung, Bapak Darma Firmansyah Undayat, S.ST., M.T.
2. Ketua Jurusan Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika, Bapak Ridwan, S.ST., M.T.
3. Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Mekatronika, Bapak Adhitya Sumardi Sunarya, S.Si., M.Si.
4. Para Pembimbing tugas akhir Bapak Nur Wisma Nugraha, S.MT. dan Bapak Faisal Abdulrahman Budikasih S.Tr., M.Sc.Eng
5. Para Penguji siding tugas akhir

6. Panitia tugas akhir Ibu Fitria Suryatini, S.PD., M.T. dan rekan – rekan panitia tugas akhir yang lain.
7. Teristimewa kepada Orang Tua penulis Elia Nurhasprianti dan Irwan Permana yang selalu mendoakan, memberikan motivasi dan pengorbanannya baik dari segi moril, materi kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Untuk kakak dan adik saya yang telah mendukung saya.
9. Buat sahabat – sahabat saya mahasiswa AE 20 dan 21

Akhir kata penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Karena itu, penulis memohon saran dan kritik yang sifatnya membangun demi kesempurnaannya dan semoga bermanfaat bagi kita semua. Aamiiiiin Ya Robbal Alamin.

Bandung, 15 Januari 2026

Penulis



ABSTRAK

Budidaya tanaman selada (*Lactuca sativa* L.) pada media tanah memerlukan kestabilan kelembapan dan pH untuk mencegah gangguan fisiologis akibat kelebihan air. Pada metode konvensional, pengendalian parameter tersebut masih dilakukan secara manual sehingga rentan terhadap fluktuasi kondisi tanah. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem perawatan tanaman selada berbasis kendali tertutup menggunakan metode Proportional–Integral–Derivative (PID) dan Internet of Things (IoT). Metode penelitian meliputi perancangan sistem kendali berbasis mikrokontroler ESP32, integrasi sensor kelembapan tanah dan pH berbasis RS485, serta pengujian respon sistem dalam menjaga kestabilan parameter tanah. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mempertahankan kelembapan tanah pada kisaran 60% dan pH tanah pada rentang 6,0 dengan toleransi 0,5 secara lebih stabil dibandingkan metode konvensional, dengan fluktuasi yang lebih kecil dan respon sistem yang menuju kondisi tunak setelah proses tuning PID. Kontribusi penelitian ini terletak pada penerapan pendekatan rekayasa sistem kendali tertutup berbasis PID dan IoT pada budidaya selada media tanah, dengan penekanan pada kestabilan proses lingkungan tanah sebagai prasyarat pertumbuhan tanaman yang terkontrol.

Kata kunci: selada, kelembapan tanah, pH tanah, PID, IoT.

ABSTRACT

*The cultivation of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in soil media requires stable soil moisture and pH conditions to prevent physiological disorders caused by excessive water. In conventional practices, these parameters are generally controlled manually, making them prone to environmental fluctuations. This study aims to design and implement a lettuce plant care system based on closed-loop control using a Proportional–Integral–Derivative (PID) method and Internet of Things (IoT) technology. The research method includes the design of a control system based on an ESP32 microcontroller, integration of soil moisture and pH sensors using RS485 communication, and experimental testing of system response in maintaining soil condition stability. The results show that the developed system is able to maintain soil moisture within the range of 60% and soil pH within 6.0 with tolerance 0.5 more consistently than conventional methods, with reduced fluctuations and a response that converges toward steady-state conditions after PID tuning. The main contribution of this research lies in the application of a closed-loop PID control approach integrated with IoT for soil-based lettuce cultivation, emphasizing the stability of soil environmental conditions as a prerequisite for controlled plant growth.*

Keywords: *lettuce, soil moisture, soil pH, PID control, IoT.*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)	iii
MOTO PRIBADI	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan dan Manfaat	5
1.5 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Tinjauan Teori.....	7
2.1.1 Sistem Kontrol	7
2.1.2 Pengendali PID	9
2.1.3 Selada	10
2.1.4 <i>Internet Of Things (IoT)</i>	13
2.2 Tinjauan Alat	15
2.2.1 ESP32.....	15
2.2.2 RS 485 Soil	18
2.2.3 Bylink.....	18
2.2.4 IBT-2 <i>Motor Driver</i>	19
2.2.5 <i>Brashless Water Pump</i> Taffware	20
2.3 Studi Penelitian Terdahulu.....	21
BAB III METODOLOGI PENYELESAIAN MASALAH	25

3.1	Metodologi Penelitian	25
3.2	<i>Requirement List</i>	27
3.2.1	Kebutuhan Fungsional	27
3.2.2	Kebutuhan non-fungsional	28
3.2.3	Batasan Sistem	29
3.3	Gambaran Umum Sistem (<i>System Design</i>)	30
3.4	<i>Domain-specific design</i>	32
3.4.1	<i>Design Mechanic</i>	33
3.4.2	<i>Design Electric</i>	34
3.4.3	<i>Information Technology</i> (Teknologi Informatika)	38
3.5	<i>Modeling and Model Analysis</i>	48
3.5.1.	Model Kendali PID dan Analisa Error	48
3.5.2.	Model <i>Supervisory Control</i> Berbasis pH	49
3.5.3.	Perancangan Sistem Kendali	50
3.5.4.	Metode Tuning PID	52
3.5.5.1.	Metode Ziegler–Nichols (Ultimate Gain)	52
3.5.5.2.	Metode Step Response (Cohen–Coon / FOPDT Identification)	52
3.5.5.3.	Metode Trial-and-Error Terstruktur	52
3.6	Integrasi Sistem	52
3.7	Validasi dan Verifikasi	54
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		57
4.1	Hasil Implementasi Mekanik	57
4.2	Hasil Implementasi Elektrik	59
4.3	Hasil Implementasi Antarmuka Aplikasi	61
4.4	Hasil Pengujian sensor pH	63
4.4.1.	Pengujian Asam	64
4.4.2.	Pengujian Basa	65
4.5	Hasil Verifikasi dan Validasi Sistem	66
4.5.1.	Validasi dan Verifikasi Sensor RS485 Soil	66
4.5.2.	Validasi dan verifikasi Auto/Manual dan Dashboard Blynk	70
4.6	Tolak Ukur Keberhasilan Sistem	71
4.6.1.	Tolak Ukur Kinerja Sistem Kendali	72
4.6.2.	Tolak Ukur Kesesuaian Kelembapan Tanah untuk Tanaman Selada	73
4.6.3.	Tolak Ukur Pertumbuhan Tanaman Selada	73
4.7	Validasi PID	74

4.7.1.	Kurva Osilasi Sebelum Dilakukan Tuning	75
4.7.2.	Tuning $K_p=1$, $K_i=0$, $K_d=0$	77
4.7.3.	Tuning $K_p=0.5$, $K_i=0$, $K_d=0$	78
4.7.4.	Tuning $K_p=0.05$, $K_i=0$, $K_d=0$	79
4.7.5.	Tuning $K_p=0.05$, $K_i=0$, $K_d=0$	80
4.7.6.	Tuning $K_p=0.001$, $K_i=0$, $K_d=0$	81
4.7.7.	Tuning $K_p=0.5$, $K_i=0$, $K_d=0$	82
4.7.8.	Tuning $K_p=0.05$, $K_i=0.5$, $K_d=0$	83
4.7.9.	Tuning $K_p=0.05$, $K_i=0.1$, $K_d=5$	84
4.7.10.	Tuning $K_p = 0.5$, $K_i=0.05$, $K_d=0.1$	85
4.8	Hasil Pengujian Tanaman	86
BAB V PENUTUP.....		93
5.1	Kesimpulan	93
5.2	Saran	95
DAFTAR PUSTAKA.....		96
LAMPIRAN.....		101

DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1 Gambaran Sistem Kontrol	7
Gambar II. 2 Model Sistematis PID.....	9
Gambar II. 3 Tanaman Selada.....	10
Gambar II. 4 Perkembangan IoT.....	13
Gambar II. 5 ESP32	15
Gambar II. 6 Sensor RS-485 Soil	18
Gambar II. 7 Blynk	18
Gambar II. 8 Modul Kendali Motor IBT-2.....	19
Gambar II. 9 Pompa Air.....	20
Gambar III. 1 VDI 2206.....	25
Gambar III. 2 Gambaran Umum Sistem	30
Gambar III. 3 Rancangan Mekanik Alat.....	33
Gambar III. 4 Rancangan Elektrik Daya.....	34
Gambar III. 5 Rancangan Elektrik Kendali	35
Gambar III. 6 Diagram Alir Sistem Auto	38
Gambar III. 7 Diagram Alir Sistem Manual	39
Gambar III.8 A Halaman Inisiasi.....	40
Gambar III.8 B Halaman Setup pemrograman	42
Gambar III.8 C Halaman Logika kendali PID dan pH	43
Gambar III.8 D Halaman Akuisisi Data.....	44

Gambar III. 9 Tampilan Antarmuka halaman 1	46
Gambar III. 10 Tampilan Antarmuka Kontrol bagian 1	47
Gambar III. 11 Tampilan Antarmuka Kontrol Bagian 2.....	47
Gambar III. 12 Diagram Blok Sistem Kendali	50
Gambar III. 13 Koding ESP32 untuk inisiasi RS485	52
Gambar III. 14 Koding ESP32.....	53
Gambar III. 15 Program logika supervisi pH.....	54
Gambar IV. 1 Implementasi Mekanik.....	57
Gambar IV. 2 Lokasi Aktuator	58
Gambar IV. 3 Tempat Aktuator Terpasang	58
Gambar IV. 4 Hasil Implementasi Elektrik	59
Gambar IV. 5 Bagian Pemantauan.....	61
Gambar IV. 6 Halaman ke 1 Kendali.....	62
Gambar IV. 7 Halaman ke 2 Kendali.....	62
Gambar IV. 8 <i>Data Sheet</i> Lakmus Mquant.....	63
Gambar IV. 9 Hasil monitoring tanah sensor sebelum di uji.....	64
Gambar IV. 10 foto sensor sebelum dimasukkan ke tanah uji	64
Gambar IV. 11 Lakmus pada larutan asam.....	64
Gambar IV. 12 Tanah yang sudah di tuangkan larutan asam	64
Gambar IV. 13 Hasil bacaan sensor.....	65
Gambar IV. 14 Lakmus pada larutan basa.....	65

Gambar IV. 15 Tanah yang sudah di tuangkan larutan basa	65
Gambar IV. 16 Hasil bacaan sensor	66
Gambar IV. 17 Tampilan IoT Laptop memperlihatkan Bacaan Soil	66
Gambar IV. 18 Tampilan <i>Feedback</i> Sensor ketika Alat sedang Berjalan	68
Gambar IV. 19 Tampilan Pembacaan Soil Moisture pada Blynk <i>mobile</i>	69
Gambar IV. 20 Tampilan IoT pada Laptop Ketika Pompa 1 Bekerja	70
Gambar IV. 21 Tampilan IoT pada Laptop Ketika Pompa 2 bekerja	71
Gambar IV. 22 Kurva Osilasi Alat sebelum dilakukan Tuning	75
Gambar IV. 23 Kurva Ideal Osilasi	76
Gambar IV. 24 Percobaan PID dengan nilai $K_p=1$, $K_i=0$, $K_d=0$	77
Gambar IV. 25 Percobaan PID dengan nilai $K_p=0.5$, $K_i=0$, $K_d=0$	78
Gambar IV. 26 Percobaan PID dengan nilai $K_p=0.5$, $K_i=0$, $K_d=0$	79
Gambar IV. 27 Percobaan PID dengan nilai $K_p=0.05$, $K_i=0$, $K_d=0$	80
Gambar IV. 28 Percobaan PID dengan nilai $K_p=0.001$, $K_i=0$, $K_d=0$	81
Gambar IV. 29 Percobaan PID dengan nilai $K_p=0.5$, $K_i=0$, $K_d=0$	82
Gambar IV. 30 Percobaan PID dengan nilai $K_p=0.05$, $K_i=0.5$, $K_d=0$	83
Gambar IV. 31 Percobaan PID dengan nilai $K_p=0.05$, $K_i=0.1$, $K_d=5$	84
Gambar IV. 32 Percobaan PID dengan nilai $K_p=0.5$, $K_i=0.05$, $K_d=0.1$	85
Gambar IV. 33 Laju Pertumbuhan Tanaman (cm)	86
Gambar IV. 34 Kelainan pada tumbuhan	89
Gambar IV. 35 Hilangnya Akar Karena Jamur	90

DAFTAR TABEL

Tabel II. 1 Spesifikasi ESP32-WROOM-32 [50].	16
Tabel II. 2 Penelitian terdahulu.....	21
Tabel III. 1 daftar I/O <i>wiring</i> kendali.....	36
Tabel IV. 1 Laju Pertumbuhan Tanaman (cm)	86
Tabel IV. 2 Dokumentasi Hasil Penanaman	90

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Desain Mekanik Alat

Lampiran 2 Layout Panel

Lampiran 3 Koding ESP32

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

IoT = *Internet of Things*

PID = *proportional–integral–derivative*

NFT = *Nutrient Film Technique*

EC = *Electric Conductivity*

pH = *Potensial Hidrogen*

HMI = *Human to Machine Interface*

UI = *User Interface*

VDI = *Verein Deutscher Ingenieure*

SP = *Setpoint*

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Infrastruktur *Internet of Things* (IoT) menjadi salah satu teknologi yang banyak diaplikasikan di berbagai sektor kehidupan manusia [1]. Salah satu bidang yang mulai banyak diterapkan teknologi IoT yaitu pertanian karena dapat menjadi solusi dari masalah yang berkaitan dengan kegiatan perkebunan secara manual, seperti: penyiraman berlebihan atau kurang, pemantauan fisik, keterbatasan tenaga kerja, dan pemeliharaan yang tidak teratur [1], [2]. IoT dapat memberikan solusi yang dapat memonitor dan menyiram kebun secara otomatis dengan memberikan pemberitahuan berkala kepada pengguna mengenai kondisi kebun untuk menjaga lingkungan menjadi lebih optimal [2], [3].

IoT dapat melakukan pengkondisian lingkungan untuk memenuhi kebutuhan tanaman secara independen seperti : air, suhu, kelembaban, dan pH tanah [3], [4], [5]. pengotomatisan dalam pemantau tanaman dapat mengubah proses irigasi tumbuhan dari manual dan statis menjadi otomatis dan dinamis yang berdampak pada peningkatan kenyamanan, penggunaan air yang lebih efisien, dan pengawasan manusia yang lebih sedikit . IoT pada bidang pertanian telah diimplementasikan melalui penelitian terdahulu, yang menghasilkan pemberian penyiraman dan pemupukan secara otomatis [2], [4], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12].

PID, atau "Proportional-Integral-Derivative," adalah mekanisme kontrol umpan balik yang menghitung dan memperbaiki kesalahan antara setpoint dan variabel proses yang diukur menggunakan komponen proporsional, integral, dan derivatif [13], [14]. Penggunaan kontrol PID dalam IoT memiliki beberapa keuntungan. Ini meningkatkan presisi dan stabilitas aplikasi, merespons cepat terhadap perubahan kondisi, meningkatkan efisiensi operasional, dan mengurangi konsumsi sumberdaya. Penerapan sistem kontrol PID di lingkungan rumah kaca, misalnya, memastikan regulasi suhu, kelembaban, dan irigasi yang tepat, sehingga tanaman lebih sehat dan produktif. [13], [14], [15]

Selada merupakan salah satu produk dalam sektor pertanian sayuran yang menjanjikan dan memiliki potensi untuk dikomersialkan. Seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk di Indonesia dan peningkatan kesadaran masyarakat terhadap kebutuhan gizi, permintaan terhadap sayuran mengalami peningkatan. Meskipun hampir seluruh penduduk Indonesia (97,29%) mengonsumsi sayuran, jumlah konsumsi tersebut masih setengah dari rekomendasi Food and Agriculture Organization (FAO). Sebagian besar penduduk hanya mengonsumsi buah dan sayuran sebanyak 173 gram per hari, yang lebih rendah dibandingkan dengan angka kecukupan gizi (AKG) yang direkomendasikan sebesar 400 gram per kapita per hari [16]. Selada menunjukkan kemampuan untuk beradaptasi dengan berbagai kondisi iklim dan jenis tanah. Untuk menjamin pertumbuhan optimal dan hasil yang berkualitas tinggi, rentang suhu yang diinginkan berada antara 15–25 °C, tumbuh subur pada ketinggian antara 1800 hingga 2100 meter di atas permukaan laut, dan jenis tanah yang paling cocok untuk budidaya selada adalah tanah lempung berpasir dan tanah berpasir [17].

Peningkatan populasi global mendesak peningkatan riset pada presisi dan efisiensi air di pertanian untuk meningkatkan produksi pangan dan mengurangi kelangkaan air. [13]. Pertanian dianggap sebagai sektor pengguna air yang penting karena menggunakan 70% sumber daya air tawar dunia untuk irigasi 25% lahan pertanian dunia [18]. Peningkatan efisiensi sistem irigasi bisa mengurangi penggunaan air secara signifikan, memungkinkan alokasi lebih banyak air untuk pengembangan area irigasi tambahan [19]. Peningkatan efisiensi sistem irigasi dapat didefinisikan dengan adanya sistem pintar yang dapat melakukan analisis mandiri terhadap berbagai parameter seperti air, suhu, kelembaban, dan pH tanah. Penggantian pekerjaan manusia dengan komputer dijustifikasi karena hal ini dapat menghasilkan penghematan biaya yang konkret untuk pertanian komersial dan juga hasil panen yang lebih baik [20].

Dengan pertumbuhan jumlah penduduk, peningkatan pendapatan, dan tingkat pendidikan yang lebih baik, kesadaran masyarakat terhadap pentingnya nilai gizi dan kesehatan juga ikut meningkat. Menurut hasil kajian litbang Departemen Pertanian tahun 2012 di Indonesia, tingkat konsumsi buah per kapita hanya mencapai 34,55 kg/tahun, sedangkan tingkat konsumsi sayuran per kapita sebesar

40,35 kg/tahun. Sebaliknya, warga Singapura dan Vietnam memiliki tingkat konsumsi buah dan sayur yang melebihi 100 kg/tahun [21]. salah satu jenis sayuran yang mengalami peningkatan permintaan karena diminati oleh banyak kalangan Masyarakat adalah selada. Selada dapat digunakan sebagai pelengkap dalam berbagai hidangan dan sebagai bahan tambahan dalam makanan siap saji [22].

Saat melakukan penanaman selada , proses pembenihan menjadi kompleks karena memerlukan perhatian terhadap beberapa aspek penting, seperti suhu, udara, air, dan cahaya. Melakukan proses ini secara manual dengan tangan dapat menjadi sulit bagi petani. Penggunaan Internet of Things (IoT) menjadi solusi untuk mengatasi kendala ini. Konsep IoT membantu petani dalam memantau kondisi tanaman yang terhubung dengan sensor-sensor [23].

Tanaman selada (*Lactuca sativa* L.) merupakan tanaman hortikultura yang sensitif terhadap kondisi kelembapan tanah pada zona perakarannya. Kondisi kelembapan tanah yang berlebihan dapat menyebabkan tanah menjadi jenuh air sehingga menghambat difusi oksigen ke dalam pori-pori tanah. Keadaan ini berpotensi menimbulkan stres fisiologis pada akar tanaman dan dalam jangka waktu tertentu dapat menyebabkan pembusukan akar, yang berdampak pada terganggunya penyerapan air dan unsur hara serta penurunan pertumbuhan tanaman [24], [25].

Pada praktik budidaya selada media tanah, metode penyiraman konvensional maupun semi-otomatis umumnya belum mampu menjaga kelembapan tanah pada kondisi optimal secara konsisten. Sistem penyiraman yang hanya mengandalkan pengaturan waktu atau kendali *on-off* cenderung menghasilkan fluktuasi kelembapan tanah yang tinggi, sehingga meningkatkan risiko terjadinya kondisi terlalu basah maupun terlalu kering pada media tanam [18], [19]. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa ketidakstabilan kelembapan tanah masih menjadi permasalahan utama dalam budidaya selada media tanah.

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penerapan sistem monitoring berbasis *Internet of Things* (IoT) mampu menyediakan informasi kondisi lingkungan secara real-time, namun sistem monitoring saja belum cukup efektif apabila tidak dikombinasikan dengan algoritma kendali yang mampu menyesuaikan respon sistem secara dinamis [20]. Di sisi lain, penerapan sistem

kendali tertutup berbasis PID pada sistem irigasi presisi telah dilaporkan mampu meningkatkan kestabilan respon sistem, meskipun karakteristik respon kendali sangat dipengaruhi oleh jenis media tanam dan konfigurasi sistem yang digunakan [13], [15]. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang mengintegrasikan sistem kendali tertutup berbasis PID dan IoT pada budidaya tanaman selada media tanah guna menjaga kestabilan kelembapan tanah dan pH agar tetap berada pada kondisi yang mendukung pertumbuhan tanaman tanpa menimbulkan stres air.

1.2 Rumusan Masalah

Bagian Adapun rumusan masalah dari uji coba ini adalah

1. Bagaimana menjaga kestabilan kelembapan tanah pada budidaya selada untuk menurunkan potensi gangguan fisiologis karena kelebihan air?
2. Bagaimana menerapkan sistem kendali otomatis yang tepat untuk menggantikan metode penyiraman konvensional sehingga kelembapan tanah dan pH pada budidaya selada media tanah dapat dikendalikan secara lebih konsisten?
3. Bagaimana penerapan teknologi Internet of Things (IoT) dapat memungkinkan sistem perawatan tanaman selada media tanah untuk dipantau dan dikendalikan secara jarak jauh, khususnya dalam pengaturan kelembapan tanah dan pH?

1.3 Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah yang diterapkan dalam karya tulis ini adalah

1. Mikrokontroler yang digunakan untuk merawat tanaman cerdas adalah ESP32 dengan *shield*-nya.
2. Tumbuhan yang dijadikan bahan untuk uji coba alat perawatan tanaman cerdas adalah selada tipe *lactuca sativa var. crispa*.
3. Jumlah tanaman selada yang ditanam dalam uji coba adalah 4 buah.
4. Media tanam yang dipakai dalam uji coba adalah tanah tanpa memperhatikan kandungan unsur hara.

1.4 Tujuan dan Manfaat

Bagian Adapun tujuan dan yang diharapkan adalah

1. Menjaga kestabilan kelembapan tanah dan pH pada kisaran optimal yang dibutuhkan tanaman selada media tanah melalui penerapan sistem kendali tertutup berbasis PID dan IoT.
2. Menerapkan sistem kendali otomatis berbasis PID sebagai pengganti metode penyiraman konvensional untuk mengendalikan kelembapan tanah dan pH secara konsisten pada budidaya selada media tanah.
3. Menerapkan teknologi Internet of Things (IoT) pada sistem kendali perawatan tanaman selada media tanah agar proses pemantauan dan pengendalian kelembapan tanah serta pH dapat dilakukan secara jarak jauh dan real-time.

Adapun manfaat yang ingin dicapai adalah

1. Memberikan kontribusi ilmiah mengenai penerapan kendali PID pada sistem perawatan tanaman selada media tanah berbasis IoT.
2. Menyediakan solusi praktis dalam menjaga kestabilan kelembapan tanah dan pH sehingga potensi stres dan pembusukan akar tanaman selada dapat ditekan.
3. Menjadi acuan pengembangan sistem perawatan tanaman pada budidaya tanaman hortikultura media tanah.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika Karya Tulis Ilmiah Tugas Akhir ini dibahas dengan penjabaran sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN, berisi uraian mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA, berisi gambaran umum tentang landasan teori untuk menjelaskan beberapa istilah dan ilmu terkait serta melihat hasil pencapaian penelitian terdahulu dengan kajian yang sama.

BAB III METODOLOGI PENYELESAIAN MASALAH, berisi langkah-langkah penyelesaian tugas akhir berupa gambaran umum sistem serta perancangan sistem.
BAB IV BIAYA DAN JADWAL KEGIATAN, berisi rancangan jadwal kegiatan TA dan rincian anggaran biaya untuk penyelesaian TA.