SMART IRRIGATION SYSTEM WITH SENSING METHOD AND HISTERESIS LOGIC BASED ON ARDUINO

Muhammad Akbar[1], Deni Luvi Jayanto[2], Sabarudin Saputra[3], Sri Khaerawati Nur[4], Afiyah Rifkha Rahmika[5], Ayu Hernita[6], Anisa Yulandari[7], Abdul Jalil[8]
[1-7]Universitas Tadulako
[8]Politeknik Negeri Ujung Pandang
[1]akbar.stmikhdy@gmail.com, [2]deniluvi@untad.ac.id, [3]sabarudinsaputra@untad.ac.id, [4]srikhaerawatinur@untad.ac.id, [5]afiyah139@untad.ac.id, [6]ayunitha@untad.ac.id, [7]anisayulandari@untad.ac.id, [8] abdul.jalil.fw@gmail.com

ABSTRAK

Sistem ini bertujuan untuk memastikan sistem dapat bekerja secara otomatis dengan penggunaan parameter yang saling terhubung satu sama lain, serta dapat mengoptimalkan penggunaan air pada lahan pertanian. Metode Penelitian yang dilakukan berbasis simulasi dengan bantuan Proteus Simulation. Penelitian ini menyajikan tentang penggunaan Arduino uno sebagai mikrokontroller dengan input sensor kelembapan untuk deteksi kondisi tanah dan sensor jarak untuk mendeteksi kondisi level air pada tangki penampungan. Adapun output sistem berupa 2 motor DC sebagai pompa penyiram tanah dan pengisi tangki air. Sistem dibangun menggunakan algoritma histeresis untuk memastikan kelangsungan hidup perangkat, khususnya motor DC, dengan pemberian ambang batas pada kondisi On dan Off. Hal ini bertujuan agar tidak fluktuasi perpindahan kondisi secara berdekatan. Selain dari itu, sistem juga ditambahkan buzzer sebagai indikator kondisi kritis (jika tanah dalam kondisi kering dan tidak terdapat air pada tangka). Juga penambahan LCD sebagai indikator kondisi. Hasil penelitian menunjukkan sistem mampu merespon setiap nilai ADC yang diberikan oleh sensor, dimana didapatkan bahwa *water pump* aktif ketika nilai kelembapan turun di bawah 70% dengan kondisi tangki air di atas 65%. jika saat kelembapan tanah turun di bawah 70% dan kondisi tangki air berada pada kondisi 75% (kondisi histeresis *tank OFF threshold*) ke atas, maka penyiraman akan ditunda dan *water tank* akan aktif untuk mengisi tangki air hingga berada pada level 65% (*tank on threshold*) ke bawah. Fungsi buzzer sebagai peringatan ketika dalam kondisi kritis juga berfungsi dengan baik. Didapatkan dalam uji coba bahwa buzzer akan berfungsi ketika kondisi tanah dalam keadaan kering di bawah 70% (kondisi histeresis *moist on threshold*) dan air pada tangki kosong (<20%). Berdasarkan hasil yang didapatkan, sistem dinilai mampu diterapkan pada lahan pertanian dengan area kecil dengan mekanisme logika histeresis antara parameter yang ada dan mudah dalam proses instalasi dan perawatan.

Kata kunci: irigasi pintar, logika histeresis, Arduino uno, sensor kelembapan, sensor ketinggian air

1. PENDAHULUAN

Penggunaan air dalam sektor pertanian merupakan salah satu tantangan utama baik lingkup lokal maupun nasional, khususnya pada wilayah dengan kering ketersediaan air yang terbatas [1][2]. Sistem penyiraman konvensional yang mengandalkan jadwal tetap atau melalui pengalaman/pengamatan langsung sering kali menyebabkan degradasi efisiensi penggunaan air dan ketidaksesuaian dalam kebutuhan air bagi tanaman [3]. Oleh karena itu, diperlukan sistem irigasi otomatis yang mampu beradaptasi dengan kondisi lingkungan secara *real-time* [4][5]. Penggunaan logika histeresis juga akan menjadi penunjang *lifetime* dari perangkat yang digunakan dalam sistem, karena logika tersebut memastikan perangkat tidak akan bekerja ON/OFF dalam rentang nilai yang berdekatan [6][7].

Penelitian sebelumnya telah banyak mengembangkan sistem irigasi otomatis berbasis sensor kelembapan tanah, namun masing-masing memiliki keterbatasan. Misalnya, Hasanah (2022) berhasil merancang sistem berbasis Arduino untuk mengatur penyiraman, tetapi masih menggunakan kontrol ambang batas sederhana (threshold logic) yang berpotensi menyebabkan pompa sering menyala-mati sehingga kurang efisien [8]. Penelitian oleh Kandwal et al. (2021) menambahkan aspek IoT untuk monitoring kelembapan dan notifikasi real-

time, tetapi fokus hanya pada pemantauan tanpa perbaikan logika kontrol pompa [9]. Selain itu, penelitian oleh Kulmány et al. (2022) menekankan pentingnya kalibrasi sensor kelembapan berbasis tekstur tanah serta integrasi IoT, tetapi penelitian ini belum mengombinasikan pengendalian pompa penyiram dan pompa tangki secara simultan [10]. Sementara itu penelitian lain yang dilakukan oleh Kumar, R. et al. (2021) memperkenalkan logika histeresis untuk mengurangi siklus on-off berlebihan, namun tidak mempertimbangkan ketersediaan air tangki sehingga sistem belum sepenuhnya adaptif [11].

Penelitian ini dilakukan untuk menjawab kebutuhan akan sistem irigasi otomatis yang lebih stabil dan andal dengan menerapkan logika histeresis sebagai strategi control [12][13]. Logika ini memungkinkan sistem membuat keputusan dengan ambang batas ganda, sehingga menghindari aktivasi/deaktivasi pompa secara berulang akibat perubahan kecil nilai sensor [14].

Selain itu, sistem ini mengintegrasikan dua jenis kontrol pompa secara simultan—yakni kontrol untuk penyiraman dan kontrol untuk pengisian ulang tangki air—dengan menerapkan logika histeresis untuk menghindari kerja pompa yang berulang-ulang pada ambang batas level air. Sistem ini juga dilengkapi dengan buzzer peringatan yang diaktifkan secara otomatis saat level mencapai kondisi ekstrem (air tidak tersedia dan tanah kering), yang merupakan kombinasi fitur yang belum banyak dijumpai dalam penelitian sejenis.

Berdasarkan hal tersebut, pertanyaan yang menjadi tujuan utama penelitian ini adalah: Bagaimana merancang sistem irigasi otomatis berbasis sensor analog dengan logika histeresis yang mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air dan mengurangi siklus kerja pompa secara signifikan? Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan menguji sistem tersebut secara eksperimental, serta mengevaluasi kinerjanya dalam skenario pertanian skala kecil.

Tabel 1. Relevansi Penelitian Sebelumnya dengan Penelitian yang Dilakukan

Penelitian Sebelumnya	**Hasil Penelitian**	**Relevansi dengan Penelitian oleh Penulis**	**Analisis Gap**
Hasanah [8]	Sistem irigasi otomatis berbasis sensor kelembapan tanah menggunakan Arduino.	Menjadi dasar penggunaan sensor kelembapan dalam pengendalian pompa otomatis.	Masih menggunakan kontrol ambang batas sederhana sehingga rentan *frequent switching*.
Kandwal et al. [9]	Merancang sistem irigasi otomatis berbasis IoT menggunakan sensor kelembapan tanah, dengan notifikasi via aplikasi mobile.	Memberikan dasar pengembangan sistem irigasi otomatis berbasis sensor kelembapan dan penggunaan teknologi IoT secara real-time.	Hanya fokus pada notifikasi, belum mengoptimalkan logika kontrol pompa agar hemat energi.
Kumar et al. [11]	Mengembangkan sistem kontrol berbasis histeresis pada penyiraman otomatis.	Menjadi dasar penggunaan logika histeresis dalam pengaturan pompa agar tidak sering on-off.	Belum mempertimbangkan data sensor lain (misalnya level air tangki) sehingga kurang adaptif.
Kulmany et al. [10]	Mengembangkan sistem pengendalian pompa berbasis sensor kelembapan dan kendali jarak jauh melalui Blynk IoT platform.	Memberikan referensi teknis tentang integrasi sensor dan kontrol pompa dalam sistem monitoring otomatis.	Belum mengombinasikan kendali pompa penyiram dan pompa tangki secara simultan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen laboratorium berbasis simulasi dengan memanfaatkan perangkat lunak Proteus. Pemilihan metode ini didasarkan pada pertimbangan efisiensi waktu, biaya, serta fleksibilitas dalam menguji berbagai skenario tanpa harus merakit perangkat keras secara langsung. Sistem irigasi otomatis dirancang menggunakan Arduino Uno sebagai pengendali utama, dengan dua variabel sensor, yaitu kelembapan tanah dan ketinggian air dalam tangki, yang dimodelkan secara virtual. Logika histeresis diimplementasikan dalam program Arduino untuk mengendalikan pompa penyiraman dan pompa pengisian air. Eksperimen dilakukan dengan memberikan variasi kondisi simulasi kelembapan tanah (kering, lembap, basah) dan ketinggian air (penuh, setengah, kosong) untuk mengamati respon sistem. Melalui pendekatan ini, efektivitas

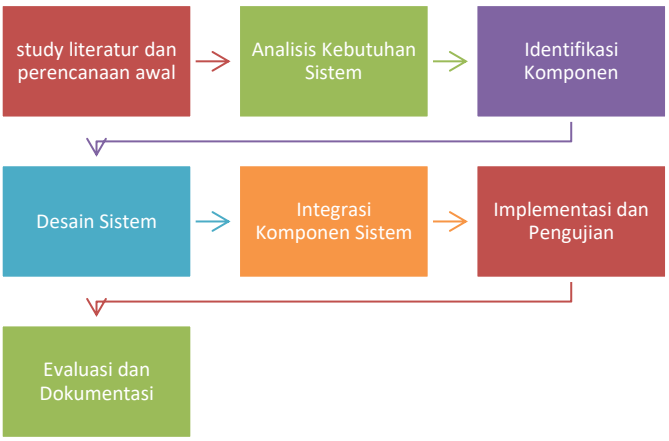
logika histeresis dalam mencegah kerja pompa berulang akibat fluktuasi kecil pembacaan sensor dapat diuji secara lebih terkontrol sebelum sistem direalisasikan ke dalam perangkat fisik.

2.1. Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan sistematis yang terdiri dari :

a. Tahap study literatur dan perencanaan awal. Pada tahap ini dilakukan penelusuran terhadap berbagai referensi ilmiah, jurnal, dan proyek serupa mengenai sistem irigasi otomatis, sensor kelembapan tanah, kontrol berbasis mikrokontroler, serta metode pemantauan volume air. Studi ini bertujuan untuk memperoleh pemahaman mendalam mengenai teknologi yang digunakan dan memastikan bahwa solusi yang dikembangkan memiliki dasar teoritis yang kuat dan relevansi praktis.
b. Tahap Analisis Kebutuhan Sistem, yang dimulai dengan mengamati permasalahan manual dalam proses irigasi lahan atau tanaman, khususnya yang berkaitan dengan ketidakpastian kelembapan tanah dan volume air dalam tangki. Dari hasil analisis ini, ditentukan bahwa diperlukan sebuah sistem otomatis dan terintegrasi yang dapat memantau serta mengendalikan pengairan berdasarkan parameter lingkungan.
c. Tahap Identifikasi Komponen dan Spesifikasi Teknis, yaitu proses pemilihan dan penentuan perangkat keras yang digunakan. Komponen utama yang diidentifikasi antara lain sensor kelembapan tanah, sensor ultrasonik untuk pengukuran ketinggian air, mikrokontroler (Arduino Uno), dua buah pompa air, serta modul relay sebagai pengendali aktuator. Spesifikasi tiap komponen dicocokkan dengan kebutuhan sistem yang akan dikembangkan.
d. Tahap Desain dan Perakitan Perangkat Keras serta Antarmuka, di mana dilakukan perancangan skematik sistem menggunakan perangkat lunak seperti Proteus. Pada tahap ini juga dilakukan penyusunan kabel dan koneksi antarkomponen secara fisik, termasuk pembuatan antarmuka sederhana seperti LCD untuk menampilkan data sensor atau antarmuka berbasis serial monitor.
e. Tahap Integrasi Komponen Sistem, yaitu tahap penyatuan seluruh perangkat keras dan pemrograman logika kontrol dalam mikrokontroler. Sensor-sensor diintegrasikan ke dalam logika yang menentukan kapan pompa irigasi atau pompa pengisi tangki akan aktif, bergantung pada hasil pembacaan sensor. Seluruh komponen diuji secara parsial sebelum diuji sebagai sistem utuh.
f. Tahap Implementasi dan Pengujian, yaitu tahap di mana sistem yang telah dirakit dan diprogram dijalankan untuk mengamati kinerja aktualnya. Pengujian dilakukan baik dalam bentuk simulasi menggunakan Proteus maupun uji coba langsung pada sistem prototipe. Skenario pengujian mencakup variasi kelembapan tanah dan ketinggian air untuk melihat bagaimana sistem merespons kondisi tersebut secara otomatis.
g. Tahap Evaluasi dan Dokumentasi Hasil Tahap akhir ini mencakup evaluasi terhadap kinerja sistem berdasarkan hasil pengujian. Diperiksa apakah sistem bekerja sesuai dengan yang diharapkan, mencatat kelebihan dan keterbatasan, serta mengidentifikasi potensi perbaikan atau pengembangan lebih lanjut. Selain itu, dilakukan dokumentasi lengkap terhadap keseluruhan proses, termasuk diagram sistem, logika pemrograman, dan hasil pengujian untuk laporan akhir.

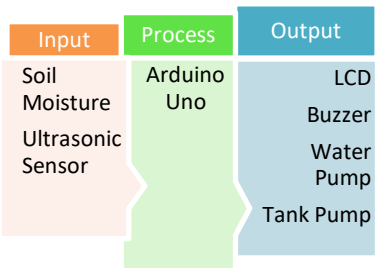
Bagan tahapan penelitian :



Gambar 1. Bagan Tahapan Penelitian

Metode yang digunakan dalam pengembangan sistem ini adalah metode *Waterfall*, yaitu pendekatan pengembangan perangkat keras dan lunak yang bersifat sekuensial dan sistematis, di mana setiap tahapan dilakukan secara berurutan dan tidak dilanjutkan ke tahap berikutnya sebelum tahap sebelumnya selesai [15]. Proses dimulai dari tahap studi literatur dan perencanaan awal, kemudian dilanjutkan dengan analisis kebutuhan, identifikasi komponen, desain sistem, implementasi, pengujian, hingga evaluasi dan dokumentasi hasil. Metode ini dipilih karena sesuai dengan karakteristik proyek yang memiliki kebutuhan dan spesifikasi yang relatif jelas sejak awal pengembangan.

2.2 Diagram Blok Sistem



Gambar 2. Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem ini menggambarkan alur kerja otomatisasi irigasi berbasis Arduino, di mana bagian *Input* terdiri dari *Soil Moisture Sensor* yang membaca kelembapan tanah dan *Ultrasonic Sensor* yang mengukur ketinggian air pada tangka penampungan, kemudian data dari sensor diproses oleh Arduino Uno sebagai pusat kendali untuk mengambil keputusan, dan hasilnya dikirimkan ke bagian *Output* berupa *LCD Display* yang menampilkan informasi kondisi sistem seperti *Environmental Value* dan status dari *water pump* dan *tank pump. Water Pump* digunakan untuk menyiram tanaman pada saat kelembaban tanah berada pada ambang 70% - 80%, *Tank Pump* akan mengisi tangki ketika air dalam penyimpanan kurang dari 65% - 75%, serta *Buzzer* yang berfungsi memberikan peringatan atau notifikasi pada kondisi kritis.

2.3 Flowchart sistem

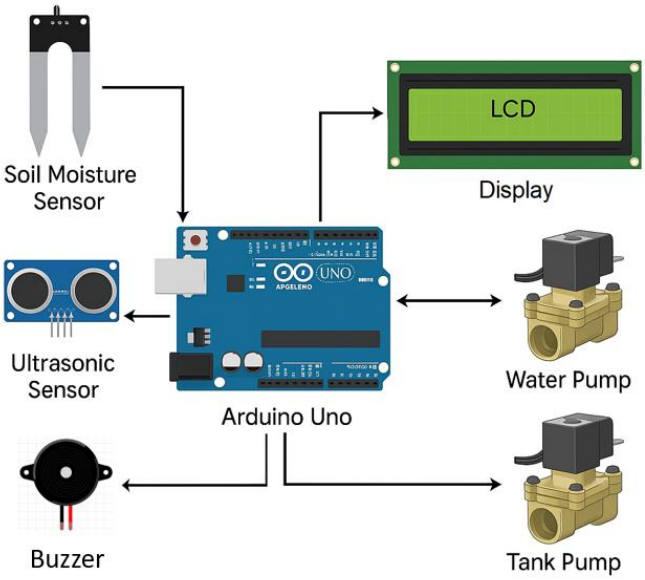
Gambar 2. Flowchart Sistem

Flowchart menggambarkan alur kerja dari sistem irigasi cerdas berbasis sensor kelembaban tanah dan sensor jarak (*distance sensor*) untuk mengelola suplai air secara otomatis. Sistem ini dimulai dengan proses inisialisasi (*initialization*) sebagai langkah awal saat perangkat dinyalakan. Selanjutnya, sistem akan secara berulang membaca nilai dari sensor kelembaban tanah. Apabila nilai kelembaban lebih rendah dari ambang batas bawah yaitu 70% (*moist_on_threshold*), maka sistem akan mengaktifkan pompa penyiram (*Activated Watering Pump*) untuk menyuplai air ke tanaman. Pompa akan tetap menyala hingga kelembaban mencapai ambang batas atas yaitu 80% (*moist_off_threshold*), sehingga implementasi logika histeresis mencegah pompa hidup-mati secara terus-menerus akibat fluktuasi sensor.

Setelah pompa penyiram aktif, sistem melanjutkan dengan membaca nilai dari sensor jarak yang digunakan untuk memantau ketinggian air dalam tangki. Jika level air di dalam tangki lebih rendah dari 65% (*tank_on_threshold*), maka sistem akan mengaktifkan pompa pengisian tangki (*Activated Tank Pump*). Pompa ini akan berhenti bekerja apabila ketinggian air telah mencapai 75% (*tank_off_threshold*), yang juga menerapkan prinsip histeresis untuk stabilitas sistem.

Sebagai bagian dari fitur keselamatan dan efisiensi, sistem juga melakukan pengecekan terhadap kondisi darurat, yaitu jika kondisi tanah tetap kering dan tangki air kosong (*Dry Soil & Empty Tank*). Jika kondisi ini terdeteksi, maka sistem akan mengaktifkan *buzzer* (*Activated Buzzer*) sebagai peringatan bagi pengguna. Setelah itu, sistem memeriksa apakah pengguna memilih untuk mematikan perangkat (*Power Off*). Jika ya, maka sistem akan dinonaktifkan (*System Off*) dan alur berakhir (*End*). Jika tidak, sistem kembali ke proses pemantauan sensor untuk terus melakukan irigasi secara otomatis dan adaptif.

2.3. Arsitektur dan Komponen Sistem



Gambar 3. Arsitektur Sistem

Arsitektur sistem ini dirancang dengan menggunakan Arduino Uno sebagai pusat pengendali utama yang mengintegrasikan input dari sensor, pemrosesan logika, dan output kendali aktuator serta tampilan data.

a. Input Sensor
Sensor Kelembapan Tanah (Soil Moisture Sensor) berfungsi untuk mendeteksi tingkat kelembapan media tanam. Data yang diperoleh dikirim ke Arduino sebagai dasar keputusan apakah lahan memerlukan penyiraman atau tidak [16]. Sensor Ultrasonik digunakan untuk mengukur ketinggian atau volume air dalam tangki. Sensor ini memberikan informasi apakah air dalam tangki masih cukup untuk digunakan dalam proses irigasi [17].
b. Pengolahan Data
Arduino Uno memproses data dari kedua sensor tersebut. Berdasarkan nilai kelembapan tanah dan volume air di tangki, Arduino mengambil keputusan untuk mengaktifkan atau menonaktifkan pompa air maupun pompa pengisi tangki. Di perangkat ini pula logika histeresis akan ditanamkan
c. Output Sistem
LCD Display digunakan untuk menampilkan data real-time dari sensor, seperti tingkat kelembapan tanah dan tinggi air di tangki, agar pengguna dapat memantau kondisi sistem secara langsung.

Solenoid Valve untuk Water Pump dikendalikan Arduino untuk membuka saluran air menuju lahan pertanian saat tanah terdeteksi kering dan tangki memiliki cukup air. Solenoid Valve untuk Tank Pump berfungsi mengisi ulang tangki air saat volumenya di bawah ambang batas tertentu.

Arsitektur ini mendukung sistem yang bekerja otomatis dan berbasis kondisi lingkungan, serta dapat dengan mudah dikembangkan lebih lanjut menggunakan konektivitas IoT seperti WiFi atau GSM untuk pemantauan jarak jauh. Pengembangan ke sistem IoT akan membantu ke proses monitoring yang lebih efektif dan efisien [18].

Tabel 2. Skematik Rangkaian Sistem

No.	Komponen	Label di Rangkaian	Fungsi	Port
1.	Arduino Uno	Arduino	Mikrokontroler utama	—
2.	Sensor Kelembapan Tanah	Soil_Moisture Sensor	Mendeteksi kadar air dalam tanah	A0
3.	Sensor Ultrasonik	HC-SR04	Mengukur ketinggian air dalam tangki	Trigger: D7, Echo: D6
4.	Pompa Air Irigasi	Watering_Pump	Mengalirkan air ke lahan saat tanah kering	D9 (via relay)
5.	Pompa Pengisi Tangki	Tank_Pump	Mengisi tangki saat air habis	D8 (via relay)
6.	LCD 16x2 (I2C)	LCD	Menampilkan nilai sensor dan status sistem	SDA: A4, SCL: A5
7.	Modul Relay 2 channel	Relay_Module	Mengontrol ON/OFF pompa	IN1: D8, IN2: D9
8.	Power Supply	Adaptor 12V/5V	Sumber daya pompa dan Arduino	VIN, GND (untuk Arduino)
9.	Breadboard & Kabel Jumper	—	Koneksi antar-komponen	—
10	LED Indikator	LED_Status	Menunjukkan status sistem atau peringatan	D10
11	Buzzer	Buzzer	Indikator kondisi kritis	D3

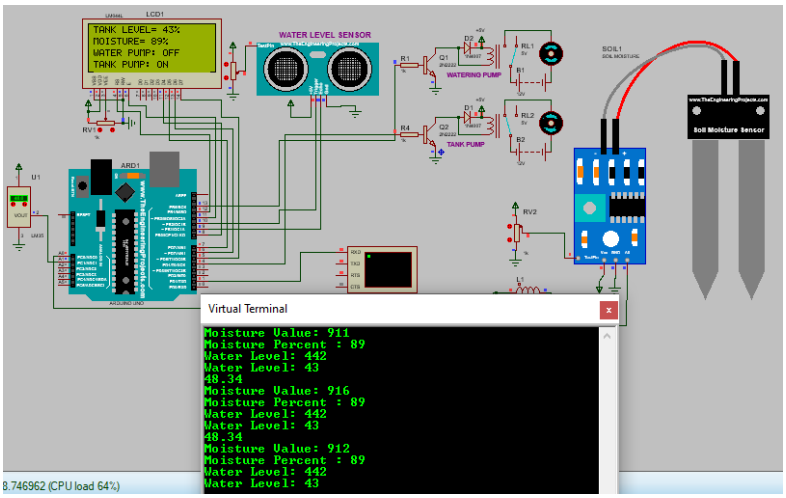
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem irigasi pintar dikembangkan menggunakan simulasi Proteus berdasarkan rancangan awal dari BhakeSart [19], yang kemudian dimodifikasi dengan penerapan logika histeresis untuk mengoptimalkan kerja pompa irigasi dan pengisian air tangki serta penambahan buzzer untuk indikator ketika air pada tangki habis dan tanah dalam keadaan kering. Simulasi ini mencakup sensor kelembapan tanah, sensor ultrasonik untuk ketinggian air, serta dua pompa (pengisi dan penyiram) yang dikendalikan oleh mikrokontroler Arduino Uno.

Meskipun penelitian ini hanya dilakukan melalui simulasi menggunakan perangkat lunak Proteus, terdapat sejumlah keterbatasan yang perlu dicermati ketika sistem diterapkan pada kondisi riil. Pada simulasi, lingkungan dapat dimodelkan secara ideal dan stabil, sedangkan di lapangan nilai kelembapan tanah dipengaruhi oleh faktor alamiah seperti variasi curah hujan, perbedaan tekstur tanah, serta perubahan suhu yang dapat menimbulkan fluktuasi signifikan pada hasil pengukuran sensor. Selain itu, simulasi tidak sepenuhnya merepresentasikan adanya noise atau interferensi sinyal yang umum terjadi pada perangkat elektronik di lapangan, sehingga akurasi data berpotensi lebih rendah dibandingkan kondisi ideal. Tantangan lain yang muncul pada implementasi nyata adalah terkait kebutuhan daya, di mana pompa air sesungguhnya memerlukan arus dan tegangan yang lebih besar serta mengalami beban mekanis yang tidak diperhitungkan dalam simulasi. Dengan demikian, implementasi sistem pada kondisi riil memerlukan strategi tambahan, seperti kalibrasi sensor yang lebih akurat, penerapan teknik filtering atau shielding untuk meminimalisasi noise, serta perhitungan kapasitas pompa dan manajemen energi agar sistem dapat beroperasi secara andal dan berkelanjutan.

3.1 Pengujian Sensor Kelembapan Tanah

Dalam simulasi, sensor kelembapan tanah menghasilkan nilai ADC yang bervariasi tergantung kondisi dari nilai tahanan yang diberikan oleh potentiometer dalam rangkaian yang juga akan menjadi nilai *Pin Test* secara *realtime.*

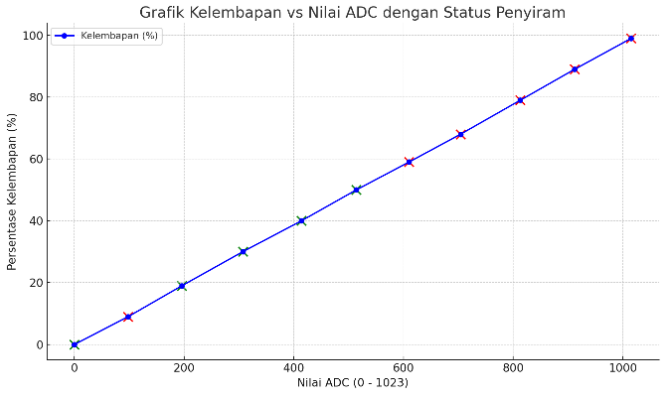


Gambar 4. Hasil pengujian sensor kelembapan

Terlihat pada gambar 3 di atas, nilai pada *virtual terminal* untuk sensor kelembapan terdapat 2 parameter, yakni *Moisture Value* yang mengukur nilai ADC dan *Moisture Percent* yang digunakan untuk merubah nilai value ke persentase. Nilai persentase ini yang akan digunakan sebagai parameter pembanding untuk mengaktifkan selenoid/penyiram. Terlihat pada tabel 2 jika kelembapan tanah (dalam bentuk persentase) di bawah 70%, maka penyiram akan ON atau aktif, selama air tangki cukup (lebih dari 50%). Sebaliknya, jika air < 50%, maka pompa penyiram bernilai OFF atau tidak aktif, meskipun kelembapan rendah. Sehingga untuk melakukan penyiraman, tangki air harus diisi terlebih dahulu hingga melebihi nilai 50%. P Nilai persentase tangki pada simulasi ditentukan secara acak untuk menggambarkan kondisi nyata bahwa ketersediaan air dalam tangki tidak selalu konstan, melainkan dapat berada pada berbagai level. Dengan variasi nilai acak tersebut, sistem dapat diuji pada berbagai skenario sehingga terlihat dengan jelas kapan penyiram akan aktif maupun tidak. Misalnya, meskipun kelembapan tanah berada di bawah ambang batas 70% (menandakan perlu penyiraman), pompa tetap tidak menyala apabila level tangki kurang dari 50%. Sebaliknya, jika kelembapan rendah dan nilai acak tangki menunjukkan lebih dari 50%, maka penyiram akan aktif. Pendekatan ini memungkinkan pengujian logika keputusan sistem secara lebih menyeluruh tanpa harus membatasi kondisi pada satu skenario tertentu.

Tabel 2. Pengujian simulasi sensor kelembapan

No.	Nilai ADC	Persentase Kelembapan (%)	Persentase Tangki (%)	Penyiram
1	1015	99	80	OFF
2	912	89	45	OFF
3	813	79	60	OFF
4	704	68	55	**OFF**
5	610	59	30	OFF
6	514	50	51	**ON**
7	414	40	65	**ON**
8	307	30	40	OFF
9	196	19	75	**ON**
10	98	9	20	OFF
11	0	0	90	**ON**

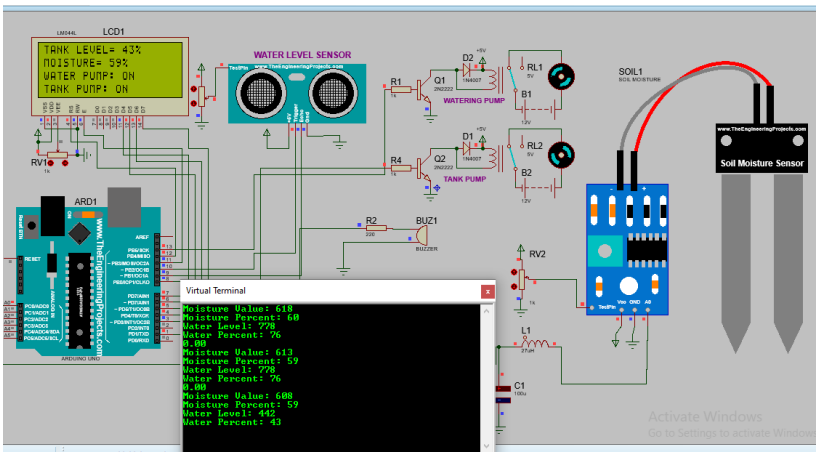


Gambar 5. Grafik pengujian sensor kelembapan

Grafik di atas menunjukkan hubungan antara nilai ADC (*Analog-to-Digital Converter*) dan persentase kelembapan, dengan penandaan status penyiram (ON/OFF). Nilai ADC berada pada rentang 0 hingga 1023, di mana nilai yang lebih tinggi menunjukkan tingkat kelembapan yang lebih tinggi. Terlihat bahwa grafik memiliki pola linier menurun: semakin tinggi nilai ADC, semakin tinggi pula persentase kelembapan. Pada grafik ini juga ditampilkan status penyiram menggunakan titik warna—titik hijau menandakan penyiram dalam kondisi ON, sedangkan titik merah menunjukkan penyiram OFF. Dari pola tersebut, dapat disimpulkan bahwa sistem penyiraman akan aktif ketika kelembapan turun di bawah ambang batas tertentu, yang dalam hal ini terlihat berada di sekitar 50% atau nilai ADC sekitar 514 ke bawah.

3.2 Pengujian Sensor ultrasonic (level tangki)

Sama dengan sensor kelembapan, pada simulasi yang dilakukan, nilai sensor ultrasonic didapat dari nilai ADC hasil perubahan dari potentiometer. Potentiometer adalah perangkat yang dapat mengubah nilai tahanan sehingga dapat menaikkan/mengurangi arus yang akan digunakan [20].

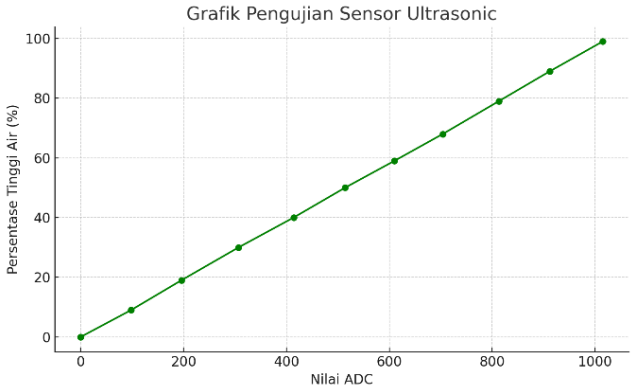


Gambar 6. Hasil pengujian sensor ultrasonic/level tangki

Terlihat pada gambar 5, untuk pengujian sensor ultrasonic menggunakan 2 parameter, yakni *water level* dan *water percent.* Water level digunakan sebagai *distance* untuk mengukur jarak ketinggian air, kemudian *water percent* adalah hasil konversi persen dari nilai *water level* yang akan digunakan sebagai parameter pengisian air tangki. Tabel hasil pengukuran menunjukkan hubungan antara nilai ADC dari sensor ultrasonik, persentase ketinggian air dalam tangki, dan status pengisian air melalui pompa. Sistem dirancang untuk mengaktifkan pompa pengisi apabila persentase ketinggian air dalam tangki turun di bawah 65% dan kelembapan tanah melebihi 85%. Dengan logika ini, pengisian air hanya dilakukan ketika air di dalam tangki mulai menipis namun tanah belum membutuhkan penyiraman, sehingga air dapat disiapkan sebagai cadangan. Dari data yang ada, terlihat bahwa ketika nilai ADC rendah (menunjukkan ketinggian air tangki rendah), dan kelembaban tanah masih cukup tinggi, pompa pengisi aktif untuk mengisi kembali tangki. Sebaliknya, jika persentase tangki masih tinggi, pompa tetap tidak diaktifkan.

Tabel 3. Pengujian simulasi sensor ultrasonic

No.	Nilai ADC (Ultrasonik)	Persentase Tangki (%)	Kelembapan Tanah (%)	Pengisi (Tank Pump)
1	1105	100	90	OFF
2	995	97	88	OFF
3	884	86	86	OFF
4	778	76	92	OFF
5	664	64	91	**ON**
6	552	52	89	**ON**
7	442	43	93	**ON**
8	332	32	90	**ON**
9	221	21	94	**ON**
10	110	10	96	**ON**
11	1	0	95	**ON**



Gambar 7. Grafik pengujian sensor ultrasonic

Grafik di atas menggambarkan hasil pengujian sensor ultrasonik terhadap ketinggian air yang dikonversikan dalam bentuk nilai ADC dan persentase tinggi air. Terlihat bahwa hubungan antara nilai ADC dan persentase tinggi air bersifat linier positif, di mana semakin tinggi nilai ADC, semakin tinggi pula persentase ketinggian air yang terdeteksi. Grafik menunjukkan bahwa pada nilai ADC mendekati 0, tinggi air berada di kisaran 0%, dan meningkat secara bertahap hingga mencapai 100% saat nilai ADC mendekati 1023.

3.3 Pengujian sistem secara penuh

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem irigasi otomatis berdasarkan dua parameter utama, yaitu persentase kelembapan tanah dan tinggi air dalam tangki (dalam persen). Sistem ini dilengkapi dengan dua pompa (pompa penyiram dan pompa pengisi tangki) serta sebuah buzzer sebagai indikator kondisi kritis.

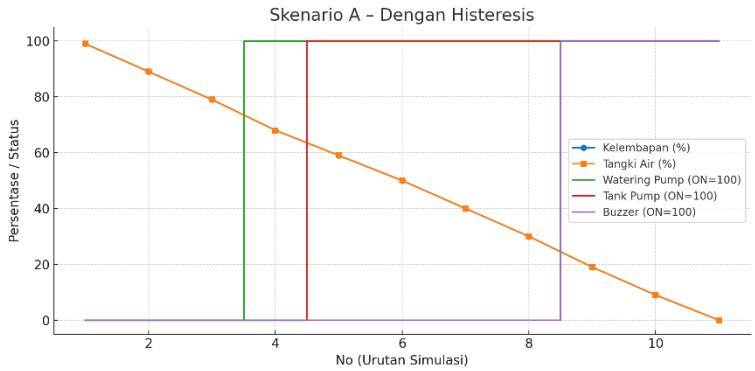
Pada tabel 4 di bawah, hasil pengujian menunjukkan bahwa pompa penyiram (*watering pump*) mulai aktif ketika kelembapan tanah turun di bawah ambang batas 70%. Hal ini terlihat mulai dari data baris ke-4, saat kelembapan mencapai 68%, sistem mengaktifkan pompa penyiram. Pompa ini tetap aktif hingga kelembapan kembali melebihi ambang batas 80%, sebagaimana diterapkan dengan logika histeresis untuk mencegah pompa menyala-mati terlalu sering. Sementara itu, pompa pengisi tangki (*tank pump*) aktif ketika tinggi air dalam tangki turun di bawah 65%. Pompa ini bekerja bersamaan dengan pompa penyiram ketika kedua kondisi terjadi bersamaan, seperti yang terlihat pada baris ke-5 hingga baris ke-11.

Selain itu, sistem dilengkapi dengan buzzer sebagai indikator kondisi darurat. Buzzer menyala ketika kelembapan tanah rendah (di bawah 70%) namun tangki air masih penuh (di atas 75%). Kondisi ini menunjukkan bahwa tanah memerlukan penyiraman, tetapi pompa tidak bekerja karena level air dalam tangki belum cukup rendah untuk mengaktifkan pompa pengisi. Dalam pengujian, kondisi ini terdeteksi pada baris ke-12, di mana kelembapan berada pada 58% dan level tangki 88%, sehingga buzzer menyala sebagai sinyal peringatan.

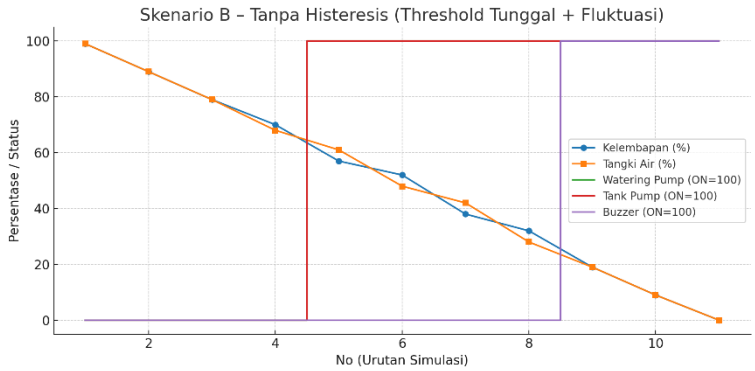
Secara keseluruhan, pengujian membuktikan bahwa sistem mampu merespons kondisi dengan baik berdasarkan parameter sensor yang digunakan, serta memberikan sinyal peringatan ketika terjadi ketidaksesuaian antara kebutuhan penyiraman dan ketersediaan air.

Tabel 4. Pengujian keseluruhan sistem

No	Kelembapan (%)	Tangki Air (%)	Watering Pump	Tank Pump	Buzzer
1	99	99	OFF	OFF	OFF
2	89	89	OFF	OFF	OFF
3	79	79	OFF	OFF	OFF
4	68	68	ON	OFF	OFF
5	59	59	ON	ON	OFF
6	50	50	ON	ON	OFF
7	40	40	ON	ON	OFF
8	30	30	ON	ON	OFF
9	19	19	ON	ON	ON
10	9	9	ON	ON	ON
11	0	0	ON	ON	ON



Gambar 8. Grafik pengujian sistem secara penuh (dengan Histeresis)



Gambar 9. Grafik pengujian sistem secara penuh (tanpa Histeresis)

Gambar 8 di atas menyajikan hasil pengujian simulasi sistem secara penuh, yang mana mencakup pengujian sensor kelembapan dan sensor jarak. Dalam grafik terlihat nilai persentase dari 0-100% dan jumlah percobaan yang telah dilakukan sebanyak 11 kali. Adapun indikator yang diukur terdapat 5 parameter, yakni Kelembapan (%), tangki air (%), *watering pump*, *tank pump* dan terakhir adalah *buzzer*. Nilai kelembapan dan tangki air ditunjukkan dalam bentuk persentase mulai dari 0-99, sedangkan status pompa dan *buzzer* ditampilkan dalam bentuk logika biner *HIGH* (100) atau *LOW* (0). Terlihat pada gambar tren penurunan nilai kelembapan tampak jelas, hal ini dikarenakan pengambilan sampel data menggunakan data dari nilai animasi *potentiometer* yang menjadi pin Test pada simulasi proteus, dimana animasi tersebut memiliki 11 perubahan nilai ADC dari tertinggi 1105 ADC hingga ke 0 ADC. Sesuai dengan tabel sebelumnya, *watering pump* mulai aktif ketika nilai kelembapan tanah berada di bawah 70%, yang mana merupakan nilai *Threshold ON*. Kemudian, ketika nilai level air pada tangki turun hingga di bawah 65%, tank pump diaktifkan untuk melakukan pengisian air. Pada kondisi ke 11, nilai persentase kelembapan dan tangki air berada pada titik terendah yakni 0, ini akan mengaktifkan *watering pump* dan *tank pump* dan juga buzzer. Pada percobaan 9 - 11, terlihat bahwa buzzer yang aktif dengan kondisi tanah

dalam keadaan kering <70% dan tangki dalam kondisi kosong (<20%). Hal ini menunjukkan bahwa sistem peringatan kondisi kritis berjalan dengan baik. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa sistem dapat merespons perubahan kondisi lingkungan secara otomatis dan tepat, berdasarkan ambang batas parameter yang telah ditentukan (moisture ON = 70%, OFF = 80%; tank ON = 65%, OFF = 75%).

Pada gambar 9 (tanpa histeresis), ditambahkan fluktuasi ±2% di sekitar ambang. Hasilnya, status mengikuti ambang tunggal. Dalam contoh dataset 11 langkah ini jumlah switching tampak sama, tetapi total langkah ON berbeda. Dengan rentang data yang lebih berosilasi di sekitar ambang, skenario tanpa histeresis akan lebih sering "kedap-kedip" (*switching* lebih banyak), sedangkan histeresis menstabilkan aktuator.

Grafik pembanding menunjukkan bahwa penerapan logika histeresis menjaga stabilitas kendali pompa ketika terjadi fluktuasi kecil pada pembacaan sensor. Pada data uji ini, total langkah ON pompa penyiram pada skenario histeresis lebih besar saat diperlukan dan menghindari switching yang tidak perlu di sekitar ambang, sedangkan skenario *threshold* tunggal lebih sensitif terhadap *jitter*.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Sistem yang dirancang terbukti mampu mengendalikan proses penyiraman berdasarkan dua parameter utama, yakni kelembapan tanah dan ketersediaan air tangki, dengan logika hysteresis threshold. Kontribusi penelitian ini adalah menghadirkan model kendali penyiraman yang adaptif terhadap kondisi lapangan, sehingga lebih efisien dalam penggunaan air dan dapat dijadikan dasar pengembangan sistem irigasi cerdas berbasis IoT pada implementasi nyata. Hasil pengujian menunjukkan bahwa dengan kondisi simulasi yang dilakukan dengan pemberian nilai ADC yang sama pada kedua sensor, sistem mampu menjalankan kondisi-kondisi sesuai dengan yang ditanamkan. Pompa penyiram aktif ketika nilai kelembapan turun di bawah 70% (kondisi histeresis *moist on threshold*), dan pompa pengisi tangki menyala ketika nilai tinggi air turun di bawah 65% (kondisi histeresis *tank on threshold*).pada kondisi tertentu, seperti pada baris 9-12, jika kelembapan di bawah batas ambang ON, yakni 70%, dan air pada tangki berada pada level <20%, maka buzzer sebagai indikator kondisi kritis akan aktif karena kondisi tanah yang kering dan tidak terdapat air yang cukup pada tangki untuk dilakukan penyiraman. Hal ini menunjukkan bawah sistem dapat bekerja secara mandiri, dengan cara menyesuaikan kondisi level ketersediaan air dan kelembapan tanah. Keteresediaan air pada sistem ini merupakan hal yang mutlah yang harus dipenuhi terlebih dahulu, dikarenakan proses penyiraman tanah tidak akan terjadi jika kondisi tersebut tidak terpenuhi. Selain dari pada itu, penggunaan nilai ADC yang sama antara dua sensor sebagai nilai pada pintest dalam simulasi tetap dapat menghasilkan pengujian yang sesuai, selama ambang batas dan logika kendali diterapkan dengan tepat.

4.2 Saran

Untuk perbaikan atau pengembangan penelitian ke depannya, baiknya jika menerapkan proses implementasi secara langsung. Karena perbedaan nilai state logikal keadaan lingkungan pada simulasi berbeda dengan nilai lingkungan secara langsung yang dapat berubah secara alami, sehingga algoritma histeresis yang digunakan dapat lebih maksimal. Dapat juga menambahkan perangkat untuk menambah mekanisme smart pada sistem, seperti pemberian *tasking* per waktu menggunakan RTC.

DAFTAR PUSTAKA

[1] B. Soujanya and D. Gurjar, "Water-efficient crop production: Agronomic strategies for drought-prone areas," *Int. J. Res. Agron.*, vol. 7, no. 12, pp. 187–196, Dec. 2024, doi: 10.33545/2618060X.2024.v7.i12c.2121.

[2] S. F. Alharbi, M. Aldakil, A. Felemban, and A. Abdelrahim, "Agricultural and Technology-Based Strategies to Improve Water Use Efficiency in Arid and Semiarid Areas." May 13, 2024. doi: 10.20944/preprints202405.0767.v1.

[3] A. Singh, D. Pandey, M. R. Iqbal, M. Rashid Nazir, S. Kumar, and D. Sonal, "Smart Irrigation System: Optimizing Water Usage for Sustainable Agriculture," in *2024 3rd International Conference on Automation, Computing and Renewable Systems (ICACRS)*, IEEE, Dec. 2024, pp. 421–424. doi: 10.1109/ICACRS62842.2024.10841485.

[4] L. L. S. Maneesha, N. C. Manasa, K. Manoja, and M. A. R. Chowdary, "Smart Automated Liquid Sprinkler Robot Integrating IoT and Deep Learning for Precision Crop Management," *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 12, no. 4, pp. 4414–4421, Apr. 2024, doi: 10.22214/ijraset.2024.60946.

[5] M. Akbar, "Realtime Database Sensor Menggunakan Arduino Uno Untuk Keperluan Sistem Informasi," *Ilk. J. Ilm.*, vol. 9, no. 1, pp. 91–95, 2017, doi: 10.33096/ilkom.v9i1.115.91-95.

[6] G. Chacko and K. Mathew, "Histeresis based voltage mode control of three phase two level inverters with constant switching frequency," in *2022 IEEE 19th India Council International Conference (INDICON)*, IEEE, Nov. 2022, pp. 1–6. doi: 10.1109/INDICON56171.2022.10039730.

[7] K. H. Lee, H. El Dirani, P. Fonteneau, M. Bawedin, S. Sato, and S. Cristoloveanu, "Sharp switching, histeresis-free characteristics of Z^2-FET for fast logic applications," in *2018 48th European Solid-State*

Device Research Conference (ESSDERC), IEEE, Sep. 2018, pp. 74–77. doi: 10.1109/ESSDERC.2018.8486915.

[8] H. I. L. Hasanah, "Automatisasi Pompa Irigasi pada Sistem Irigasi Tetes Berbasis Mikrokontroller Arduino Uno," *ARZUSIN*, vol. 2, no. 6, pp. 520–531, Dec. 2022, doi: 10.58578/arzusin.v2i6.682.

[9] A. Kandwal, A. Shakya, A. Ramola, and A. Vidhyarthi, "Development and Analysis of Novel IoT Based Resistive Soil Moisture Sensor using Arduino UNO," in *Proceedings of the 2nd International Conference on ICT for Digital, Smart, and Sustainable Development, ICIDSSD 2020, 27-28 February 2020, Jamia Hamdard, New Delhi, India*, EAI, 2021. doi: 10.4108/eai.27-2-2020.2303177.

[10] I. M. Kulmány *et al.*, "Calibration of an Arduino-based low-cost capacitive soil moisture sensor for smart agriculture," *J. Hydrol. Hydromechanics*, vol. 70, no. 3, pp. 330–340, Sep. 2022, doi: 10.2478/johh-2022-0014.

[11] P. Sreesudha, "Smart Irrigation System with Arduino Automation," *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 12, no. 8, pp. 550–554, Aug. 2024, doi: 10.22214/ijraset.2024.63942.

[12] R. Pandey, G. R. Jayanth, and M. S. Mohan Kumar, "Enhancing Robust Control of Irrigation Canal Systems with Quantitative Feedback Theory (QFT)," in *2024 6th International Conference on Electrical, Control and Instrumentation Engineering (ICECIE)*, IEEE, Nov. 2024, pp. 1–8. doi: 10.1109/ICECIE63774.2024.10815638.

[13] M. Okner and D. Veksler, "Automated Water Irrigation System," Jan. 2025, Accessed: May 06, 2025. [Online]. Available: https://arxiv.org/pdf/2501.10610

[14] S. Kärnell and L. Ericson, "Histeresis Control in Pump-Controlled Systems—A Way to Reduce Mode-Switch Oscillations in Closed and Open Circuits," *Energies*, vol. 15, no. 2, p. 424, Jan. 2022, doi: 10.3390/en15020424.

[15] Yanti Yusman, Nurafina Siregar, Randi Rian Putra, and Sri Nadriati, "Sistem Informasi Perangkat Desa (SINPERDES) Berbasis Website Dengan Metode Waterfall Dalam Pelaksanaan Pembangunan Desa," *Bull. Comput. Sci. Res.*, vol. 3, no. 6, pp. 408–412, Oct. 2023, doi: 10.47065/bulletincsr.v3i6.274.

[16] V. R. Laxmi and M. Saxena, "A Review on Soil Moisture Detection and Plant Watering System in Smart Agriculture," *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 10, no. 9, pp. 282–289, Sep. 2022, doi: 10.22214/ijraset.2022.46606.

[17] N. Khan, P. Kumar, and S. Sadistap, "IoT enabled embedded ultrasonic sensor based water tank level system with pump switching control," 2021, p. 060004. doi: 10.1063/5.0043399.

[18] Justice Chikezie Anunuso, Fred O. Agonga, Babawuya Alkali, Akeem O. Anifowoshe, Callistus T. Ikwouazom, and Jatau E. Ayuba, "Intelligent IoT based soil monitoring and irrigation system using fuzzy logic control and Nodemcuesp8266 Microcontroller," *Glob. J. Eng. Technol. Adv.*, vol. 13, no. 3, pp. 072–080, Dec. 2022, doi: 10.30574/gjeta.2022.13.3.0203.

[19] "GitHub - BhakeSart/Automated-Irrigation-System-Using-Arduino: This Automatic Irrigation System has been created virtually with the help of a simulation software called Proteus. The microcontroller used is Arduino Uno . The sensors incorporated are Ultrasonic Sensor and Soil Moisture sensor . The Code for the Project has been written in Embedded C in Arduino IDE." https://github.com/BhakeSart/Automated-Irrigation-System-Using-Arduino (accessed May 08, 2025).

[20] N. Rathee, A. Gupta, S. Singh, R. Devasia, and A. Bansal, "Digital resistance box: An approach to generate desired value of resistance by automatically varying the potentiometer," in *2016 IEEE 1st International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES)*, IEEE, Jul. 2016, pp. 1–4. doi: 10.1109/ICPEICES.2016.7853694.