

Perancangan Sistem Penyemprotan Gulma Otomatis Berdasarkan Deteksi Citra Gulma Berbasis IoT

Nailul Muna¹, Nanang Syahroni², Karimatun Nisa'³, Natty Novia Ramadhani⁴, Dimas Ade Firmanda⁵

nailul@pens.ac.id¹, nanang@pens.ac.id², nisa@pens.ac.id³

^{1,2,3} Teknik Telekomunikasi, Departemen Teknik Elektro, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

Informasi Artikel

Diterima : 15 Des 2024
Direvisi : 28 Des 2024
Disetujui : 30 Des 2024

Kata Kunci

Deteksi Citra, IoT, Penyemprotan Gulma, Penyemprotan Otomatis, Sistem Penyemprotan

Abstrak

Penanganan gulma yang efektif sangat penting dalam pertanian untuk meningkatkan hasil panen dan mengurangi dampak lingkungan dari penggunaan pestisida. Penelitian ini mengusulkan implementasi sistem deteksi gulma berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk penyemprotan gulma secara real-time. Sistem ini mengintegrasikan teknologi deteksi citra dengan IoT untuk memantau gulma secara otomatis. Kamera terhubung melalui IoT menangkap gambar area pertanian dan melakukan pemrosesan gambar menggunakan pengolahan citra untuk mendeteksi gulma. Setelah gulma terdeteksi, sistem ini mengendalikan penyemprot pestisida secara presisi pada area yang terkena gulma dengan memanfaatkan sensor ultrasonik dan sensor *water flow* yang masing-masing digunakan untuk mengetahui volume pestisida dan volume air yang digunakan penyemprotan. Hasil dari sistem dapat di monitor melalui aplikasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pompa mampu melakukan penyemprotan berdasarkan hasil deteksi gulma dan waktu *End-to-End Process* sistem juga telah dilakukan pengukuran dengan rata-rata 33,6 detik ketika gulma terdeteksi dan 30 detik ketika gulma tidak terdeteksi.

Keywords

Automatic Spraying, Image Detection, IoT, Spraying System, Weed Spraying

Abstract

Effective weed management is crucial in agriculture to improve crop yields and reduce the environmental impact of pesticide use. This research proposes the implementation of an Internet of Things (IoT)-based weed detection system for real-time weed spraying. The system integrates image detection technology with IoT to automatically monitor weeds. Cameras connected through IoT capture images of agricultural areas and perform image processing using image processing. Once the weeds are detected, the system controls a pesticide sprayer with precision, targeting the areas affected by weeds, utilizing ultrasonic and water flow sensors to monitor the pesticide and water volumes used for spraying. The results of the system can be monitored through an application. Testing results show that the pump is capable of spraying based on the weed detection outcome, the system's End-to-End Process time measured at an average of 33.6 seconds when weeds are detected and 30 seconds when no weeds are detected.

A. Pendahuluan

Pertanian merupakan salah satu sektor penting dalam perekonomian Indonesia karena sebagian besar rakyat bekerja sebagai petani [1]. Peran penting bidang pertanian adalah untuk pemenuhan kebutuhan pangan masyarakat Indonesia yang berbanding lurus dengan pertumbuhan penduduk sehingga diperlukan hasil pertanian yang baik dari segi kuantitas hasil maupun kualitas [2]. Gulma merupakan tanaman yang tidak diinginkan bagi petani yang dapat mempengaruhi kualitas dan hasil dari tanaman [3]. Gulma ini termasuk ancaman yang paling sering terjadi bagi pertanian selain gangguan wereng. Tanaman yang terganggu oleh gulma dapat menyebabkan terganggunya penyerapan air, unsur hara, sinar matahari, dan ruang tumbuh. Selain itu, gulma juga melepaskan senyawa alelopati dan dapat menjadi inang bagi hama dan patogen tanaman [4]. Karena gangguan yang diakibatkan oleh gulma, maka hasil panen yang didapat akan mengalami penurunan. Oleh karena itu diperlukan metode yang tepat untuk mitigasi kerugian hasil panen dari gangguan gulma [5].

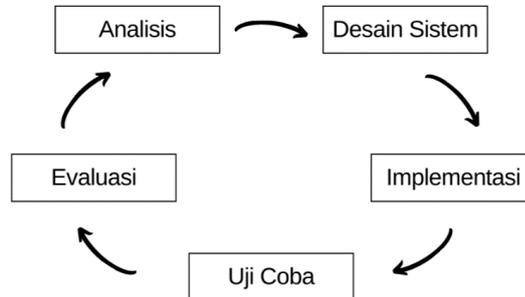
Salah satu cara untuk mengurangi ancaman gulma adalah dengan cara melakukan penyemprotan cairan pestisida. Penyemprotan pestisida biasanya dilakukan pada seluruh area tanaman yang membuat banyak limbah pestisida terbang. Teknik penyemprotan yang kurang efisien ini dapat menambah dampak buruk bagi kesehatan lahan, lingkungan, maupun petani itu sendiri. Hal ini diperlukan teknologi yang dapat menentukan teknik penyemprotan yang tepat untuk tanaman yang terdampak gangguan gulma [6].

Teknologi yang dapat dilakukan dalam teknik penyemprotan salah satunya adalah pemanfaatan *Internet of Things* (IoT) [7], [8]. Sistem IoT dapat membuat teknik penyemprotan tanaman dilakukan secara otomatis dan tepat sasaran pada gulma yang mengganggu tanaman [7], [9]. Dengan bantuan menggunakan bantuan metode pengolahan citra, sistem penyemprotan akan lebih efisien dan tidak akan membuat banyak pestisida yang terbang. Pengolahan citra merupakan salah satu teknologi yang dapat mendukung dalam pengendalian gulma dengan penyemprotan yang lebih efisien. Salah satu metode pengolahan citra yang telah mendapatkan hasil yang baik yaitu *deep learning* [10]–[12]. *Deep learning* merupakan salah satu turunan dari *machine learning* yang terinspirasi jaringan syaraf biologis manusia. Kemampuan *deep learning* dalam mempelajari data yang cukup besar merupakan salah satu keuntungan yang dimiliki. Salah satu pengolahan citra yang tergolong dalam *deep learning* adalah SSD-MobileNet-V2 FPNLite [13]–[15].

Pada penelitian ini sistem memanfaatkan Raspberry Pi yang dipasang pada kamera untuk menangkap gambar. Gambar yang telah ditangkap kemudian diproses oleh Raspberry Pi untuk menentukan ada atau tidaknya gulma yang terdeteksi. Penelitian ini bermaksud untuk mengkombinasikan sistem pengolahan citra untuk mendukung sistem IoT dalam otomatisasi penyiraman pestisida tanaman yang terkena dampak gulma. Sistem yang akan dibuat berupa purwarupa penyiram otomatis tanaman dimana sistem dapat di monitor melalui aplikasi android. Hal ini dapat membantu petani menghemat waktu dalam melakukan pekerjaan rutin yaitu penyemprotan tanaman.

B. Metode Penelitian

Pada penelitian ini membangun sistem penyemprotan gulma otomatis berdasarkan hasil pengolahan citra. Pemanfaatan hasil pengolahan citra mempengaruhi pompa untuk melakukan proses penyemprotan. Pada penelitian ini terdapat beberapa langkah yang dilakukan yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain Metode Penelitian

1. Analisis

Pada tahapan ini dilakukan analisis kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak pada sistem yang dibangun. Kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak yang dibutuhkan berturut-turut ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Kebutuhan Perangkat Keras

No.	Perangkat Keras	Tipe
1.	Raspberry Pi	Raspberry Pi 4
2.	Sensor Ultrasonik	A02YYUW
3.	Sensor <i>Water Flow</i>	YFS401
4.	Pompa Air	SL-3500
5.	Relay	1 Channel

Pada Tabel 1 merupakan kebutuhan perangkat keras yang digunakan untuk membangun sistem penyemprotan gulma otomatis berbasis IoT.

Tabel 2. Kebutuhan Perangkat Lunak

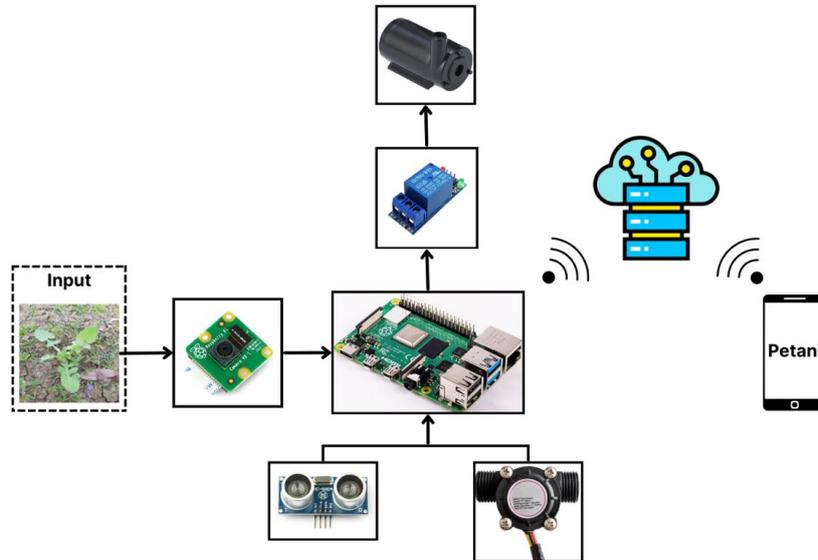
No.	Perangkat Lunak	Tipe
1.	Python	3.11.4
2.	Google Colab	Online
3.	Firebase	Firestore

Pada Tabel 2 merupakan kebutuhan perangkat lunak yang digunakan untuk mendukung perangkat keras agar menjadi perangkat yang bisa berjalan otomatis. Perangkat lunak juga digunakan untuk membangun aplikasi untuk menampilkan hasil dan memvisualisasikan data yang diperoleh perangkat keras.

2. Desain Sistem

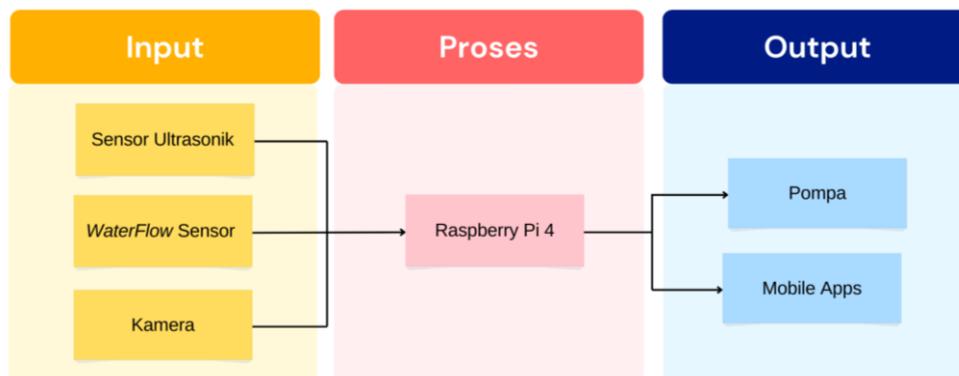
Desain sistem menggambarkan sistem penyemprotan gulma otomatis yang memanfaatkan teknologi deteksi citra. Sistem ini dirancang untuk meningkatkan

efisiensi dan presisi dalam pengendalian gulma. Selain itu sistem ini juga bertujuan untuk meminimalkan penggunaan pestisida. Desain sistem ditampilkan pada Gambar 2.



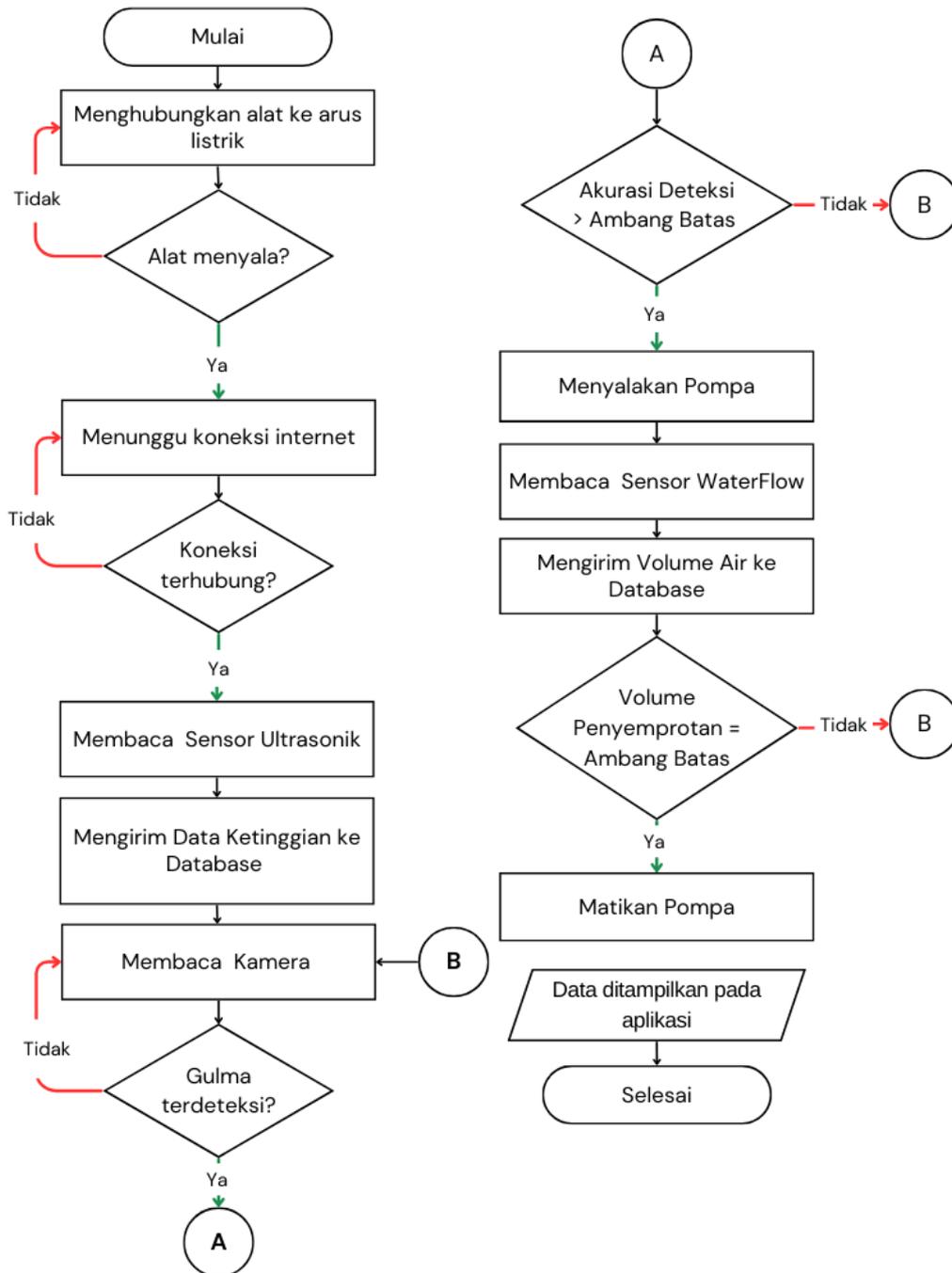
Gambar 2. Desain Sistem

Pada Gambar 2, menunjukkan desain sistem penyemprotan gulma berdasarkan hasil deteksi gulma yang tertangkap oleh kamera. Data tersebut di proses pada Raspberry Pi 4. Pada pengolahan citra gulma memanfaatkan TensorFlow sebagai antarmuka pemrograman yang memiliki operasi matematika untuk melakukan deteksi objek gulma pada gambar. Pada penyemprotan gulma sistem membutuhkan relay, pompa air, sensor ultrasonik dan sensor *water flow* yang langsung terhubung dengan Raspberry Pi. Relay digunakan untuk mengatur status ON dan OFF pada pompa air berdasarkan tinggi air pada tangka yang diperoleh dari sensor ultrasonik. Volume pestisida yang mengalir ketika menyemprot gulma juga dapat di ukur menggunakan sensor *Water flow*. Data hasil deteksi gulma dan riwayat penyemprotan disimpan kedalam *database* dan data tersebut dapat di pantau pada aplikasi Andorid. Diagra, input, proses, dan output berdasarkan desain sistem ditampilkan pada Gambar 3.



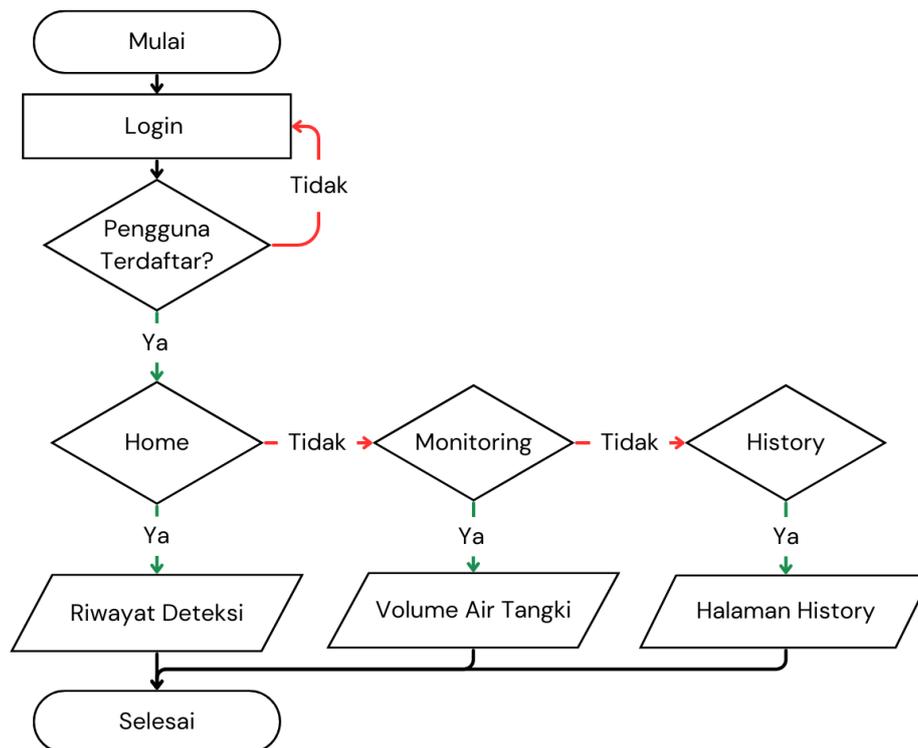
Gambar 3. Diagram input, proses, dan output

Pada sistem ini terdapat tiga input diantaranya sensor ultrasonik, sensor water flow, dan kamera. Data yang diperoleh dari sensor dan kamera akan diproses pada Raspberry 4. Hasil penangkapan citra gulma oleh kamera yang telah di proses akan menjadi acuan respon pompa untuk penyemprotan pestisida. Data hasil deteksi, volume pestisida yang ada di tangki, dan riwayat penyemrotan dapat di monitor melalui Aplikasi. Diagram alir cara kerja sistem ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir Sistem

Gambar 4 menunjukkan diagram alir sistem penyemprotan gulma. Pertama, alat dihungukan ke arus listrik, jika berhasil menyala alat akan menunggu koneksi internet. Internet digunakan untuk pengiriman data yang didapatkan sepanjang jalannya sistem. Jika sudah terhubung dengan internet, selanjutnya sistem akan membaca sensor ultrasonik untuk mengetahui ketinggian air pestisida yang ada didalam tangki air. Data ketinggian air tersebut akan dikirimkan dan disimpan di database. Sistem akan membaca kamera yang sudah terintegrasi dengan sistem untuk menangkap gambar secara berkala sesuai interval waktu yang telah ditentukan. Jika terdeteksi gulma dengan akurasi melebihi ambang batas yang ditentukan maka sistem akan menyalakan pompa dan sensor waterflow. Sensor waterflow akan membaca volume pestisida yang disemprotkan. Pompa akan mati ketika volume atau takaran penyemprotan telah sesuai dengan dengan ambang batas yang ditentukan. Kemudian data tersebut ditampilkan di aplikasi. Diagram alir penggunaan aplikasi untuk menampilkan data dari perangkat keras ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram Alir Aplikasi

Pada Gambar 5 menampilkan tampilan aplikasi android yang di gunakan untuk memantau data dari perangkat keras. Aplikasi memiliki empat halaman diantaranya, halaman login, halaman *home*, *monitoring*, dan *history*. Ketika membuka aplikasi pertama akan tampil splashscreen dan dilanjutkan masuk ke halaman login. Pengguna yang login ke aplikasi akan dilakukan pengecekan apakah pengguna tersebut telah terdaftar pada aplikasi. Jika telah terdaftar pengguna bisa berhasil masuk dalam aplikasi dan ditampilkan halaman *home*. Halaman *home* menampilkan riwayat deteksi gulma. Informasi yang ditampilkan berupa waktu

gulma terdeteksi oleh sistem beserta gambar gulma. Halaman *monitoring* menampilkan volume air didalam tangki. Hal ini untuk mengetahui sisa pestisida yang masih tersedia didalam tangki. Halaman *History* berisi informasi riwayat penyemprotan pestisida disertai waktu penyemprotannya.

3. Implementasi

Pada tahap implementasi, proses pengembangan sistem dimulai dengan pembuatan program yang terintegrasi. Sistem yang telah dirancang disesuaikan dengan kebutuhan yang telah ditentukan, dan kode program diterapkan ke dalam sistem tersebut. Implementasi terdiri dari implementasi *hardware* dari sistem penyemprotan pestisida dan implementasi aplikasi untuk memonitor hasil dari sistem penyemprotan.

4. Uji Coba Sistem

Pada tahap uji coba, dilakukan pengujian dari *hardware* sistem penyemprotan Gulma Otomatis Berdasarkan Deteksi Citra Gulma Berbasis IoT. Pengujian tersebut meliputi pengujian hardware untuk mengetahui fungsionalitas komponen yang digunakan, pengujian aplikasi yang terdiri dari pengujian fungsionalitas komponen pada aplikasi, dan pengujian *End-to-End Process* dari sistem.

5. Evaluasi

Pada tahap ini, dilakukan evaluasi dari hasil pengujian yang telah didapatkan untuk menganalisis data tersebut sudah sesuai dengan perencanaan atau belum. Sistem akan di benahi dan dilakukan pengujian ulang jika masih terdapat ketidaksesuaian dengan perencanaan.

C. Hasil dan Pembahasan

Pada bagian ini akan menampilkan hasil dari implementasi, hasil pengujian *hardware*, dan aplikasi.

1. Implementasi

Implementasi sistem penyemprotan pestisida yang dibahas pada bagian ini meliputi implementasi *hardware* dan implementasi aplikasi.

1.1. Implementasi Hardware

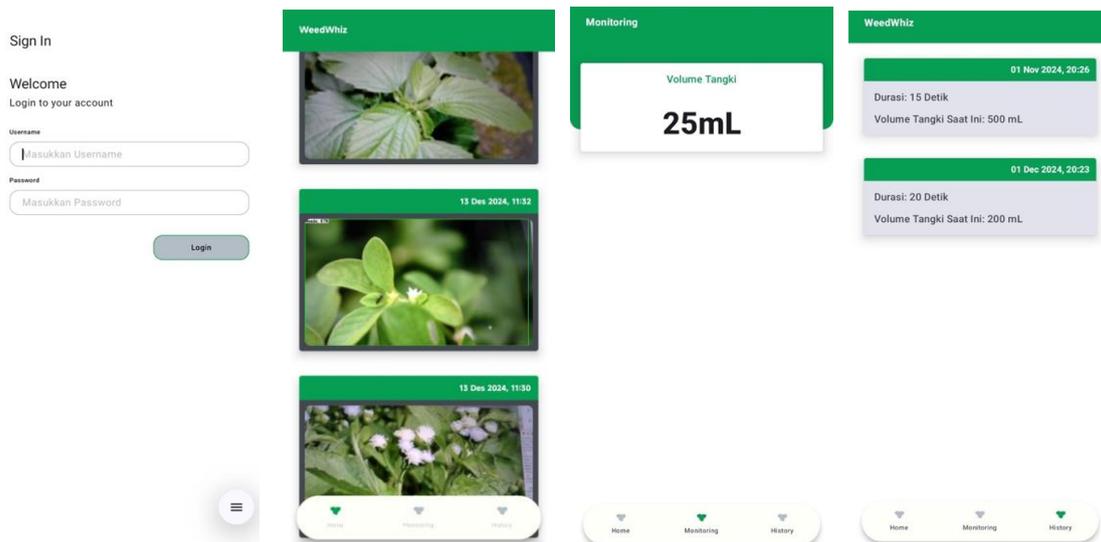
Pada bagian ini akan menampilkan hasil implementasi *hardware* yang ditampilkan pada Gambar 6. Sistem penyemprotan pestisida otomatis yang ditampilkan pada Gambar 6, terdiri dari beberapa bagian diantaranya box panel yang digunakan untuk menyimpan mikrokontroler dan *relay*. Pada sistem ini juga terdapat sensor ultrasonik, sensor *waterflow*, dan pompa air untuk menyemprot pestisida. Sensor-sensor dan pompa air dipasang pada luar box panel karena diletakkan pada prototype yang telah dibuat. Sistem akan menyemprotkan pestisida ketika terdeteksi adanya gulma dengan ambang batas akurasi yang telah ditentukan. Pengaturan ambang batas penyemprotan, riwayat penyemprotan, dan hasil deteksi dapat ditampilkan pada aplikasi.



Gambar 6. Implementasi Hardware

1.2. Implementasi Aplikasi

Tampilan keseluruhan aplikasi yang sudah dibangun ditampilkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Tampilan Aplikasi

Aplikasi memiliki empat tampilan diantaranya halaman login, halaman *Home*, *Monitoring*, dan *History*. Pada halaman login, pengguna dapat menginputkan *username* dan *password* agar dapat melakukan monitoring. Ketika pengguna berhasil login, pengguna dapat melihat hasil deteksi disertai waktu data tersimpan di *database* yang ditampilkam pada halaman *Home*. Pengguna juga dapat melihat volume pestisida pada tangki yang di tampilkan pada halaman *Monitoring*. Ketika gulma terdeteksi sistem akan menyemprotkan pestisida pada gulma. Riwayat

penyemprotan tersebut ditampilkan pada aplikasi halaman *History*. Informasi yang ditampilkan meliputi waktu data penyemprotan tersimpan di *database*, durasi penyemprotan, dan volume pestisida setelah penyemprotan.

2. Pengujian *Hardware*

Pengujian *hardware* bertujuan untuk mendapatkan hasil uji sebagai bahan evaluasi kinerja dari sistem, seperti kinerja dari sensor ultrasonik dan *waterflow*. Hasil pengujian sensor akan dihitung persentase error menggunakan rumus berikut:

$$\%error = (\text{nilai sensor}-\text{nilai acuan})/(\text{nilai acuan})\times 100\%. \quad (1)$$

Pada pengujian sensor ultrasonik hasil pengukuran sensor dibandingkan dengan pengukuran mistar untuk mengetahui persentase error pengukurannya. Hasil pengukuran sensor ultrasonik ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik

Pengujian	Pengukuran Sensor (cm)	Pengukuran Mistar (cm)	Selisih	% Error
1	20,991	21	0,009	0,04%
2	19,407	19	0,407	2,11%
3	17,724	17	0,724	4,11%
4	14,952	15	0,048	0,32%
5	12,873	13	0,127	1,00%
6	11,091	11	0,091	0,83%
7	8,913	9	0,087	1,00%
8	7,329	7	0,329	4,63%
9	5,052	5	0,052	1,08%
Rata-Rata Error				1,68%

Tabel 3 menampilkan hasil pengukuran sensor ultrasonik yang menghasilkan rata-rata error 1,68%. Berdasarkan hasil yang didapatkan, sensor ultrasonik memiliki kemampuan pengukuran ketinggian air dengan akurasi yang tinggi.

Pada pengujian sensor *waterflow*, hasil pengukuran sensor dibandingkan dengan pengukuran gelas ukur untuk mengetahui persentase error pengukurannya. Hasil pengukuran sensor *waterflow* ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Sensor *Water Flow*

Pengujian	Pengukuran Sensor (ml)	Pengukuran Gelas Ukur (ml)	Selisih	% Error
1	554,35	1000	54,35	7,55%
2	1077,95	1500	77,95	5,57%
3	1609,25	2000	1s09,25	5,23%
4	2078,95	2500	78,95	2,92%
5	2617,95	3000	117,95	3,47%
6	3079,95	3500	79,95	2,00%
7	3618,95	4000	118,95	2,53%
8	4080,95	4500	80,95	1,53%
9	4542,95	5000	42,95	0,73%
Rata-Rata Error				3,50%

Tabel 4 menampilkan hasil pengukuran sensor *waterflow* yang menghasilkan rata-rata error mencapai 3,5%. Hal ini terjadi karena proses kalibrasi sensor *waterflow* yang kurang optimal, sehingga sensor menghasilkan pembacaan yang kurang akurat, ditambah dengan faktor kesalahan manusia dalam membaca nilai volume pada gelas ukur yang digunakan sebagai acuan pembandingan hasil pembacaan sensor *water flow*.

Pengujian *hardware* berikutnya yaitu respon pompa air terhadap hasil deteksi citra gulma yang ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Respon Pompa Air Terhadap Hasil Deteksi

Pengujian	Hasil Deteksi	Respon Pompa Air	Durasi Penyemprotan (detik)	
			Berjalan	Tidak Berjalan
1	Terdeteksi	Nyala	3,7	
2	Terdeteksi	Nyala	3,1	
3	Tidak Terdeteksi	Mati	-	
4	Tidak Terdeteksi	Mati	-	
5	Terdeteksi	Nyala	3,0	
6	Tidak Terdeteksi	Mati	-	
7	Tidak Terdeteksi	Mati	-	
8	Terdeteksi	Mati	3,4	
9	Terdeteksi	Mati	3,0	
10	Terdeteksi	Nyala	3,0	
Rata-rata durasi penyemprotan			3,2	

Pada Tabel 5 menunjukkan hasil respon pompa air terhadap hasil deteksi. Pompa air akan menyala jika terdapat gulma terdeteksi oleh sistem dengan nilai confidence score lebih dari 50%. Jika nilai confidence score kurang dari 50%, maka gulma dianggap tidak terdeteksi dan pompa tidak menyala. Pompa akan menyala selama volume volume penyemprotan mencapai 250 ml. Ketika penyemprotan telah mencapai 250 ml maka pompa akan mati. Rata-rata penyemprotan membutuhkan waktu 3,2 detik untuk menghasilkan 250 ml.

3. Pengujian Aplikasi

Pengujian aplikasi yang dilakukan pada pengujian ini yaitu pengujian fungsional sistem. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat keberhasilan fitur-fitur yang ada pada aplikasi. Berikut hasil pengujian fungsionalitas sistem ditampilkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Pengujian Fungsionalitas Aplikasi

Pengujian	Fungsi	Keterangan	
		Berjalan	Tidak Berjalan
Tampilan <i>login</i>	Menginputkan <i>username</i> dan <i>password</i> pengguna	√	
Tampilan <i>Home</i>	Menampilkan hasil deteksi citra yang disertai waktu data dapat tersimpan di database	√	
Tampilan <i>Monitoring</i>	Menampikan volume pestisida pada tangki	√	
Tampilan <i>History</i>	Menampilkan waktu data tersimpan di <i>database</i> , durasi penyemprotan, dan volume pestisida setelah penyemprotan.	√	

Hasil pengujian fungsionalitas sistem yang ditampilkan pada Tabel 6 menunjukkan semua tampilan aplikasi dapat berjalan dengan baik.

4. Pengujian *End-to-End Process*

Pengujian *End-to-End Process* merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mengirimkan data dari perangkat IoT, memproses data tersebut, hingga data tersimpan dalam *database*. Waktu *End-to-End Process* diperoleh dari pengurangan *End Time* dengan *Start time*. *Start Time* merupakan waktu saat sistem mulai menangkap gambar dan *End Time* merupakan waktu yang data berhasil disimpan di *database*. Terdapat dua skenario pada pengujian *End-to-End Process*. Pengujian Skenario 1 yaitu waktu yang dibutuhkan sistem ketika gulma terdeteksi dan skenario 2 yaitu waktu yang dibutuhkan ketika gulma tidak terdeteksi. Hasil pengujian *End-to-End Process* berturut-turut ditampilkan pada Tabel 7 dan Tabel 8.

Tabel 7. *End-to-End Process* Skenario 1

Pengujian	Waktu		Status	Processing Time (detik)
	Start Time	End Time		
1	10.47.07	10:47:41	Tersimpan	34
2	10.58.25	10:58:58	Tersimpan	33
3	11.27.11	11:27:45	Tersimpan	34
4	11.28.24	11:28:58	Tersimpan	34
5	11.31.30	11:32:04	Tersimpan	34
Rata-rata <i>Procesing Time</i>				33,6

Tabel 8. *End-to-End Process* Skenario 2

Pengujian	Waktu		Status	Processing Time (detik)
	Data Terbaca	Data Tersimpan		
1	11.29.32	11:30:03	Tersimpan	31
2	11:30:22	11:30:52		30
3	11:33:09	11:33:39		30
4	11:34:02	11:34:31		30
5	10:56:11	10:56:41		29
Rata-rata <i>Procesing Time</i>				30

Berdasarkan Tabel 7, telah dilakukan 5 kali pengujian untuk data gulma yang terdeteksi. Data yang dihasilkan dapat tersimpan pada *database* dan menghasilkan rata-rata *Procesing Time* sebesar 33,6 detik, Pada Tabel 8 merupakan 5 data gulma yang tidak terdeteksi. Data yang dihasilkan dapat tersimpan pada *database* dan menghasilkan rata-rata *Procesing Time* sebesar 30 detik. Ketika gulma terdeteksi waktu yang dibutuhkan sistem untuk menjalankan *End-to-End Process* lebih banyak. Hal ini dikarenakan ketika gulma terdeteksi sistem akan melakukan penyemprotan pestisida, sehingga membutuhkan waktu yang lebih banyak..

D. Simpulan

Sistem penyemprotan gulma otomatis berdasarkan deteksi citra gulma berbasis IoT memiliki performansi yang baik dalam mendeteksi ketinggian air menggunakan sensor ultrasonik dan sensor water flow untuk mendeteksi volume. Persentase *error* dari masing-masing sensor mencapai 1,68% dan 3,5%. Sistem ini dapat berfungsi dengan baik yang ditunjukkan dari respon pompa berhasil melakukan penyemprotan gulma. Sistem telah berhasil menyemprotkan pestisida jika hasil deteksi melebihi ambang batas

yang ditentukan. Aplikasi yang dibangun sebagai perangkat lunak untuk monitoring memiliki empat tampilan utama dan semua halaman telah berjalan sesuai dengan perencanaan. Waktu *End-to-End Process* sistem juga telah dilakukan pengukuran dengan rata-rata 33,6 detik ketika gulma terdeteksi dan 30 detik ketika gulma tidak terdeteksi.

E. Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Elektronika Negeri Surabaya atas pendanaan yang telah diberikan untuk penelitian ini, serta kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyelesaian penelitian ini.

F. Referensi

- [1] R. M. Yozienanda, W. Widiarto, and A. Wijayanto, "Otomasi dan Monitoring Hidroponik pada Tanaman Selada dengan Metode Sonic Bloom Berbasis IoT," *J. Edukasi dan Penelit. Inform.*, vol. 8, no. 3, p. 422, 2022, doi: 10.26418/jp.v8i3.57392.
- [2] J. Pengabdian, M. Indonesia, R. M. No, and J. Timur, "Alamat: Jl. Rungkut Madya No.1, Gn. Anyar, Kec. Gn. Anyar, Surabaya, Jawa Timur 60294," vol. 3, no. 3, 2023.
- [3] A. A. Saputra, B. Susilo, M. Yusa, and U. Nurjanah, "Sistem Pendeteksi Genus Gulma Pada Tanaman Jagung Menggunakan Algoritme Single Shot Detector," *Rekursif J. Inform.*, vol. 10, no. 1, pp. 48–60, 2022, doi: 10.33369/rekursif.v10i1.18634.
- [4] V. Imaniasita, T. Liana, and D. S. Pamungkas, "Identifikasi Keragaman dan Dominansi Gulma pada Lahan Pertanaman Kedelai," *Agrotechnology Res. J.*, vol. 4, no. 1, pp. 11–16, 2020, doi: 10.20961/agrotechresj.v4i1.36449.
- [5] Guntur and M. Agus, "Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Penyemprotan Gulma Rumput Padi Berbasis Android," vol. 12, no. 1, pp. 1–9, 2022.
- [6] G. Tendra, "Sistem Penyiraman Pestisida Otomatis Menggunakan Arduino UNO dan GSM Shield SIM 800L," vol. 12, no. 2, pp. 13–19, 2020.
- [7] E. Alfonsius *et al.*, "Sistem Monitoring Dan Kontroling Prototype Penyiram Tanaman Otomatis Berbasis Iot (Internet of Things)," vol. 18, no. 1, pp. 44–55, 2024.
- [8] S. Pancono, N. Indroasyoko, and Asep Irfan Setiawan, "Pemantauan dan Deteksi Penyakit Daun Tomat Berbasis IoT dan CNN dengan Aplikasi Android," *Indones. J. Comput. Sci.*, vol. 13, no. 3, pp. 4692–4709, 2024, doi: 10.33022/ijcs.v13i3.4083.
- [9] S. Somantri, G. P. Insany, S. Olis, and K. Kamdan, "Perancangan Sistem Otomatisasi Pemberi Pakan Ikan Lele Berdasarkan Suhu Air Menggunakan Logika Fuzzy Sugeno," *J. Edukasi dan Penelit. Inform.*, vol. 9, no. 2, p. 289, 2023, doi: 10.26418/jp.v9i2.65823.
- [10] Nailul Muna, Norma Ningsih, Nanang Syahroni, Abd. Malik Syamlan, Vina Larasati, and Karimatun Nisa', "Implementasi Algoritma EfficientDet-D0 dan SSD-MobileNet-V2 FPNLite untuk Sistem Deteksi Gulma," *Indones. J. Comput. Sci.*, vol. 13, no. 1, pp. 1324–1333, 2024, doi: 10.33022/ijcs.v13i1.3723.
- [11] A. S. M. M. Hasan, F. Sohel, D. Diepeveen, H. Laga, and M. G. K. Jones, "A

- survey of deep learning techniques for weed detection from images,” *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 184. Elsevier B.V., May 01, 2021, doi: 10.1016/j.compag.2021.106067.
- [12] N. Islam *et al.*, “Early weed detection using image processing and machine learning techniques in an australian chilli farm,” *Agric.*, vol. 11, no. 5, 2021, doi: 10.3390/agriculture11050387.
- [13] P. P. Kumar, “CNN for Image Processing to Detect Weeds Using IOT,” *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 9, no. 11, pp. 862–867, 2021, doi: 10.22214/ijraset.2021.38794.
- [14] Y. N. AS, D. I. Mulyana, and Y. Akbar, “Klasifikasi Rumput Liar Menggunakan Deep Learning Dengan Dense Convolutional Neural Network,” *Progresif J. Ilm. ...*, pp. 347–358, 2023.
- [15] S. Kulkarni. and . S. A. Angadi, “Iot Based Weed Detection Using Image Processing and Cnn,” *Int. J. Eng. Appl. Sci. Technol.*, vol. 4, no. 3, pp. 606–609, 2019, doi: 10.33564/ijeast.2019.v04i03.089.