



Rancang Bangun Sistem IoT Pengendali Hama Tanaman Cabai Bertenaga Surya Tipe Off Grid

Rizqi Rozaqoz Zaki¹, Aris Budiman²

¹ Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jl. A. Yani Tromol Pos 1, Pabelan, Kartasura,
Sukoharjo, Indonesia

² Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jl. A. Yani Tromol Pos 1, Pabelan, Kartasura,
Sukoharjo, Indonesia

 Email korespondensi: rizqirozaqoz.zaki@gmail.com

Abstrak. Serangan hama seperti burung dan serangga merupakan tantangan utama dalam budidaya tanaman cabai (*Capsicum annum*), khususnya pada fase berbunga dan berbuah. Hama dapat menurunkan hasil dan kualitas panen dengan merusak bagian tanaman. Penggunaan pestisida kimia sebagai solusi umum memiliki dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Oleh karena itu, penelitian ini merancang sistem pengusir hama otomatis berbasis *Internet of Things* dan energi surya yang ramah lingkungan. Sistem menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan sensor PIR untuk mendeteksi gerakan hama. Ketika hama terdeteksi, sistem mengaktifkan modul DFPlayer Mini untuk memutar suara predator atau gelombang suara frekuensi tinggi melalui speaker aktif mini, termasuk suara ultrasonik, yang dapat mengusir hama secara efektif. Sistem didukung panel surya 20 Wp dan baterai 12V 10Ah yang distabilkan dengan modul step-down LM2596, sehingga dapat beroperasi secara mandiri tanpa listrik utama. Pemantauan dilakukan secara real-time melalui aplikasi Blynk. Pengujian menunjukkan bahwa sensor PIR efektif mendeteksi gerakan hingga 300 cm, dengan respons optimal pada jarak 200 cm. Sensor INA219 memiliki akurasi 95,17% dalam pengukuran daya.

Kata kunci: tanaman cabai; IoT; Pengusir Hama; Sensor PIR



PENDAHULUAN

Penelitian mengenai pengendalian hama pada tanaman cabai telah banyak dilakukan, terutama karena cabai (*Capsicum annum*) merupakan tanaman hortikultura bernilai ekonomi tinggi namun sangat rentan terhadap serangan hama seperti ulat, burung, dan serangga pengganggu. Menurut Pujiastuti et al. (2021), sebagian besar petani masih bergantung pada penggunaan pestisida kimia untuk mengatasi hama, meskipun metode ini berisiko menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan dan kesehatan manusia. Oleh karena itu, pendekatan alternatif yang lebih aman dan ramah lingkungan sangat dibutuhkan.

Salah satu pendekatan tersebut adalah penggunaan suara atau gelombang ultrasonik untuk mengusir hama. Zulkifli et al. (2018) menunjukkan bahwa suara predator yang diputar secara otomatis dapat menurunkan aktivitas hama burung secara signifikan. Pendekatan ini tidak hanya ramah lingkungan, tetapi juga dapat diotomatisasi melalui pemanfaatan teknologi berbasis mikrokontroler dan *Internet of Things* (IoT).

Dalam pengembangan teknologi IoT untuk sektor pertanian, Naufal et al. (2023) mengembangkan sistem *smart garden* yang mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman cabai dengan memanfaatkan berbagai sensor dan pemantauan jarak jauh. Penelitian tersebut memperlihatkan potensi besar penggunaan IoT untuk mendukung pertanian presisi. Sementara itu, Putra dan Sujadi (2022) merancang alat perangkap hama tanaman cabai berbasis mikrokontroler Arduino Uno dan sensor PIR yang dapat dikendalikan melalui aplikasi *blynk*. Hasilnya menunjukkan bahwa perangkat tersebut mampu mendeteksi kehadiran hama dan mengaktifkan sistem pengusiran secara otomatis. Hal serupa juga diteliti oleh Rachmawati (2023) yang menggunakan ESP32-CAM untuk mendeteksi keberadaan ulat pada tanaman cabai secara visual.

Dalam konteks penggunaan suara untuk mengusir hama, Puryono dan Pangestu (2023) mengembangkan sistem pengusir hama padi dengan memanfaatkan gelombang suara berbasis mikrokontroler ESP32 dan IoT. Sistem ini terbukti efektif menurunkan populasi hama tanpa penggunaan bahan kimia. Yanel (2023) juga menyatakan bahwa perangkat pemutar suara otomatis mampu mengusir burung pengganggu pada lahan pertanian terbuka, dengan tingkat keberhasilan yang signifikan.

Untuk menghasilkan suara tersebut, digunakan modul DFPlayer Mini yang dapat memutar file audio MP3 dan dihubungkan langsung dengan mikrokontroler. Modul ini banyak digunakan dalam berbagai sistem otomatisasi karena konsumsi dayanya yang rendah dan kemudahan integrasi. Penggunaan DFPlayer Mini dipadukan dengan speaker aktif mini atau tweeter dapat menghasilkan suara frekuensi tinggi atau suara predator, yang dapat mengganggu sistem sensorik serangga dan burung (Yanel, 2023).



Agar sistem dapat bekerja di lahan pertanian yang jauh dari jaringan listrik PLN, maka dibutuhkan sumber energi alternatif yang stabil dan terbarukan. *Ariprihata et al.* (2023) merancang sistem panel surya off-grid sebagai catu daya untuk alat pengusir hama tikus, dan menunjukkan bahwa sistem tersebut mampu beroperasi secara mandiri di lapangan. Penelitian serupa oleh *Fadjeri et al.* (2024) memperkuat temuan tersebut, di mana energi surya dimanfaatkan secara optimal untuk sistem irigasi dan perlindungan tanaman cabai. Dalam hal pemantauan dan kontrol sistem, aplikasi seperti Blynk dapat digunakan untuk menghubungkan perangkat IoT dengan smartphone secara real-time. *Syukhron* (2021) menunjukkan bahwa penggunaan aplikasi Blynk pada sistem monitoring kompos berbasis IoT memungkinkan pengguna memantau suhu dan kelembaban secara akurat dari jarak jauh. Dengan demikian, integrasi sensor seperti PIR, DHT22, INA219, serta pemutar suara dengan sistem pemantauan Blynk dapat memberikan solusi otomatis, efisien, dan ramah lingkungan dalam pengendalian hama pada tanaman cabai.

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah rancang bangun, yang terdiri dari beberapa tahapan: studi literatur, perancangan sistem, pembuatan alat, pengujian, analisis data, dan pelaporan (Setyawan & Ulinuha, 2022). Studi literatur dilakukan untuk memahami prinsip kerja komponen utama seperti sensor PIR, sensor arus dan tegangan INA219, serta integrasi mikrokontroler ESP32 dengan modul DFPlayer Mini dan aplikasi Blynk untuk sistem *Internet of Things* (IoT). Penelitian juga mencakup pemanfaatan panel surya sebagai sumber daya yang disimpan dalam baterai dan dikendalikan menggunakan *solar charge controller* serta *step-down regulator*.

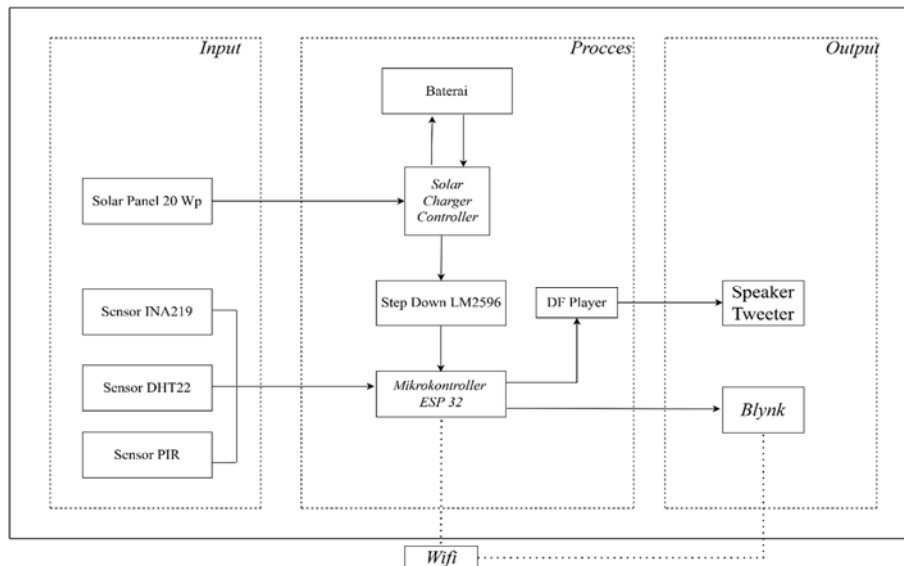
Tahap perancangan mencakup penyusunan skema sistem, pemrograman ESP32 menggunakan Arduino IDE, serta logika kerja sistem. Dalam implementasinya, sensor PIR bertindak sebagai pemicu utama. Ketika sensor ini mendeteksi pergerakan makhluk hidup di sekitar tanaman cabai, maka sistem secara otomatis akan mengaktifkan sensor ultrasonik untuk memancarkan gelombang suara berfrekuensi tinggi yang tidak terdengar oleh manusia namun dapat mengganggu sensorik burung dan serangga besar. Secara bersamaan, modul DFPlayer Mini akan mengaktifkan speaker aktif untuk memutar suara pengusir hama. Pendekatan ganda ini diharapkan lebih efektif dalam mengusir hama (Nugraha & Suhartono, 2020).

Sistem juga dilengkapi dengan sensor INA219 untuk memantau konsumsi daya listrik secara real-time, termasuk pengukuran arus, tegangan, dan daya dari baterai ke komponen utama. Data ini dapat diakses melalui aplikasi Blynk, yang terhubung dengan ESP32 untuk monitoring sistem dari jarak jauh (Kusuma & Haryanto, 2019). Setelah perangkat dirakit, dilakukan pengujian lapangan untuk mengevaluasi fungsi deteksi



sensor, efektivitas pengusiran suara dan gelombang ultrasonik, serta kestabilan suplai daya dari panel surya. Data yang diperoleh dianalisis secara kuantitatif untuk mengetahui tingkat keakuratan sistem, waktu respons, dan efisiensi energi. Tahap terakhir adalah pembuatan laporan dan penarikan kesimpulan berdasarkan hasil pengamatan dan data pengukuran.

Rancangan Sistem Keseluruhan

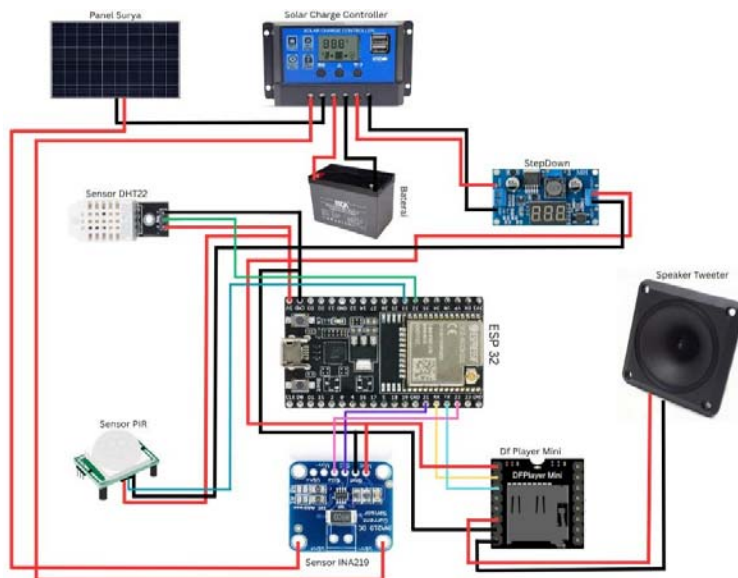


Gambar 1. Sistem Blok Diagram

Rancangan sistem diagram blok sistem, sumber daya utama berasal dari PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) yang disalurkan ke seluruh sistem atau disimpan ke dalam baterai 12V 10Ah melalui Solar Charge Controller (SCC). Tegangan dari baterai diturunkan menggunakan modul step-down LM2596 agar sesuai dengan kebutuhan komponen seperti ESP32. Sensor INA219 digunakan untuk memantau tegangan, arus, dan daya secara real-time, sedangkan sensor DHT22 berfungsi mengukur suhu dan kelembaban lingkungan sekitar. Untuk mendeteksi kehadiran hama, digunakan sensor PIR. Ketika terdeteksi, ESP32 akan mengaktifkan DFPlayer Mini untuk memutar suara pengusir serta memancarkan gelombang frekuensi tinggi melalui speaker aktif. Gelombang ini dihasilkan langsung dari speaker tanpa menggunakan sensor ultrasonik. Seluruh sistem terhubung ke aplikasi Blynk, memungkinkan pengguna memantau kondisi perangkat dan lingkungan secara jarak jauh melalui jaringan IoT.



Perancangan Alat



Gambar 2. Rancangan *Hardware*

Rancangan perangkat keras sistem pengendalian hama otomatis yang memanfaatkan sumber energi dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berkapasitas 20 Wp. Energi listrik yang dihasilkan panel surya disimpan dalam baterai 12V 10Ah dan diatur oleh Solar Charge Controller (SCC) untuk menjaga kestabilan proses pengisian. Tegangan dari baterai kemudian diturunkan menggunakan modul step-down LM2596 agar sesuai dengan kebutuhan operasional perangkat elektronik. Sensor INA219 digunakan untuk memantau parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, dan daya secara real-time. Selain itu, terdapat sensor DHT22 yang berfungsi untuk mendeteksi suhu dan kelembaban udara di sekitar area pertanian. Sensor PIR digunakan untuk mendeteksi gerakan yang mengindikasikan keberadaan hama di lahan. Ketika gerakan terdeteksi, sinyal akan dikirim ke mikrokontroler ESP32, yang kemudian mengaktifkan modul DFPlayer Mini untuk memutar suara pengusir melalui speaker tweeter. Seluruh data sensor tersebut diproses oleh ESP32 dan dikirimkan ke aplikasi *blynk*, sehingga pengguna dapat melakukan pemantauan sistem secara real-time melalui smartphone. Sistem ini dirancang untuk bekerja secara otomatis, efisien, dan ramah lingkungan karena memanfaatkan sumber energi terbarukan dari PLTS.

Analisa Data

Tahapan analisis data merupakan langkah penting dalam proses penelitian, pada saat data sudah dikumpulkan melalui beberapa metode. Data akan diolah dan disajikan



untuk membantu menjawab permasalahan penelitian. Analisis data melibatkan penguraian, perhitungan dan pengkajian data agar dapat diinterpresentasikan sebagai informasi yang relevan.

$$\text{Selisih pengukuran} = \text{nilai acuan} - \text{nilai terukur} \quad (1)$$

$$\text{Nilai error \%} = \frac{\text{selisih pengukuran}}{\text{nilai acuan}} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{Akurasi} = 100\% - \text{nilai error} \quad (3)$$

HASIL

Pengujian sistem yang telah dilakukan adalah metode yang digunakan untuk mengukur efektifitas kinerja dari suatu sistem. Proses pengujian bertujuan agar dapat mengidentifikasi kendala dan adanya evaluasi apakah sistem yang telah dirancang memerlukan perbaikan. Pengujian dilakukan pada sistem alat pengendalian hama pada tanaman cabai berbasis IoT dengan Sumber Panel Surya off-grid.

Sistem PLTS

Panel surya merupakan perangkat yang dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik, dan termasuk dalam sumber energi terbarukan. Pada penelitian ini, panel surya berfungsi sebagai sumber utama untuk alat pengendalian hama tanaman cabai. Pada sistem rangkaian PLTS ini menggunakan sistem *off-grid*. Sistem ini bekerja sendiri tanpa dibantu dengan sistem PLN. Ketika cahaya atau sinar matahari mengenai pada panel surya maka akan dibangkitkan tegangan listrik yang kemudian akan masuk ke *solar charge controller* untuk diatur tegangan dan arusnya yang kemudian akan didistribusikan ke seluruh sistem atau disimpan ke baterai.





Gambar 3. Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Sistem Monitoring Pengendalia Hama Cabai *Internet Of Things*

Monitoring dilakukan pada *software* arduino yang kemudian kode yang sudah diprogram sesuai dengan perintah akan di *upload* kedalam ESP32 dengan aplikasi Blynk. Script yang telah dibuat merupakan program untuk mikrokontroler ESP32 yang menggunakan berbagai sensor dan modul untuk alat pengendali hama cabai dan melaporkannya melalui aplikasi Blynk serta INA219 untuk pengukuran tegangan, arus, dan daya. Sensor yang digunakan termasuk PIR untuk deteksi gerakan. Setelah program selesai di *upload* maka program akan berjalan sesuai dengan perintah yang telah dibuat sebelumnya. Program ini juga menggunakan modul DFPlayer Mini untuk memutar audio saat hama terdeteksi. Jika ada gerakan yang terdeteksi oleh sensor PIR, sistem akan mengirim notifikasi ke aplikasi *Blynk* dan memainkan *speaker*.



Gambar 4. Penempatan Komponen Utama

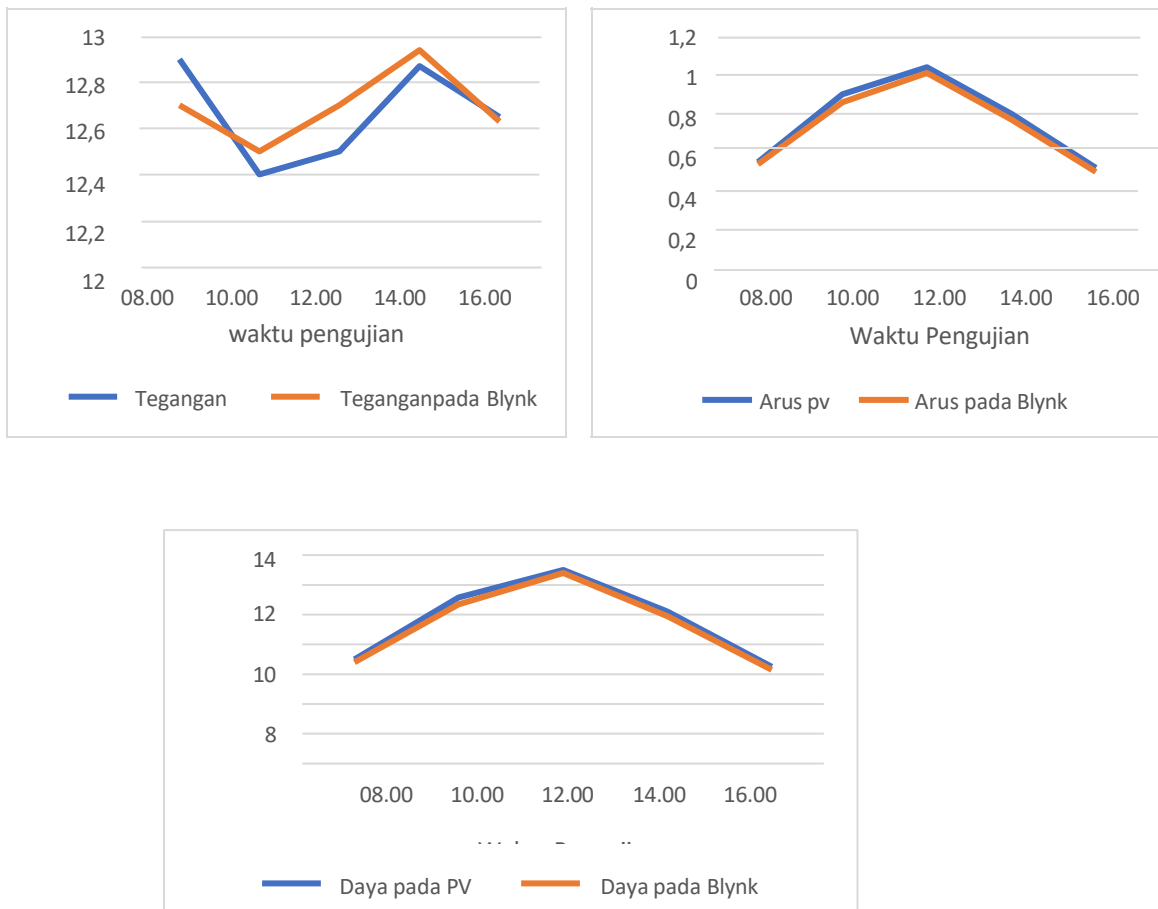


Pengukuran Panel Surya

Tabel 1. Data Pengukuran Panel Surya

Waktu	Intensitas cahaya (Lux)	Multimeter			Blynk		
		Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
08.00	730	12,5	0,55	6,88	12,3	0,52	6,4
10.00	781	12,8	0,9	11,16	12,6	0,86	10,84
12.00	790	12,9	1,04	13,42	12,7	1,01	12,83
14.00	764	12,7	0,8	10,16	12,65	0,77	9,75
16.00	698	12,4	0,52	6,45	12,2	0,50	6,1

Grafik Pengukuran Panel Surya



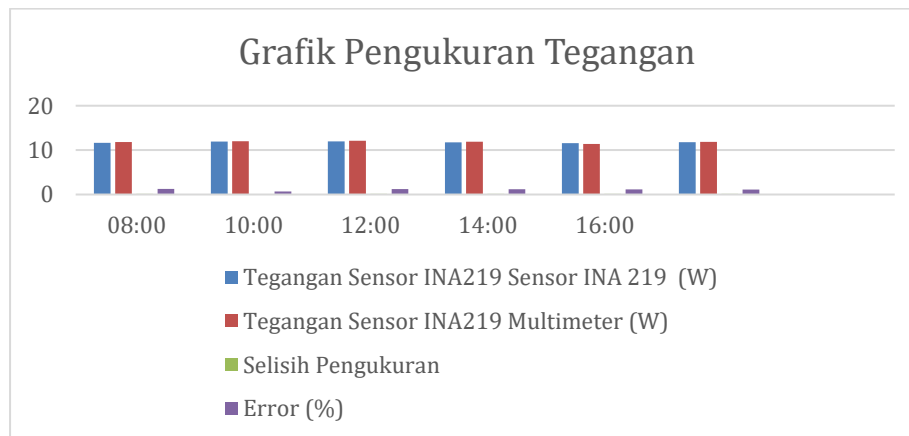
Gambar 5. Grafik Panel surya



Pengukuran Sensor INA219

Tabel 2. Data Pengujian Tegangan Sensor INA219

No	Waktu (Jam)	Tegangan ina219		Selisih Pengukuran	Error (%)
		Sensor INA 219 (V)	Multimeter (V)		
1	08:00	11.65	11.8	0.15	1.27
2	10:00	11.92	12	0.08	0.67
3	12:00	11.95	12.1	0.15	1.24
4	14:00	11.76	11.9	0.14	1.18
5	16:00	11.56	11.4	0.13	1.17
Rata-rata		11.768	11.84	0.13	1.106
Akurasi		$100\% - 1.106\% = 98.89\%$			



Gambar 6. Grafik Pengukuran Tegangan Sensor INA219

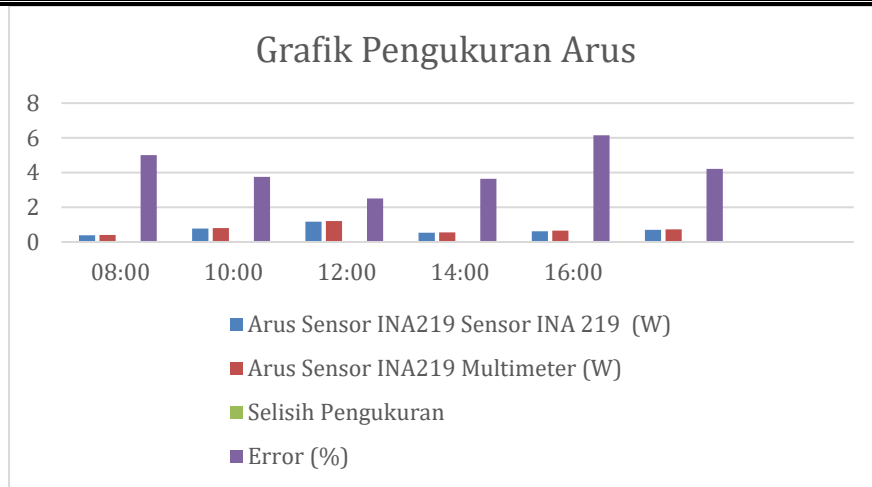
Pengujian Arus INA219

Tabel 2. Pengukuran Arus INA219

No	Waktu (Jam)	Output arus ina219		Selisih Pengukuran	Error (%)
		Sensor INA 219 (A)	Multimeter (A)		
1	08:00	0.38	0.4	0.02	5
2	10:00	0.77	0.8	0.03	3.75
3	12:00	1.17	1.2	0.03	2.5
4	14:00	0.53	0.55	0.02	3.64
5	16:00	0.61	0.65	0.04	6.15



Rata-rata	0.692	0.72	0.028	4.208
Akurasi	$100\% - 4.208\% = 95.79\%$			



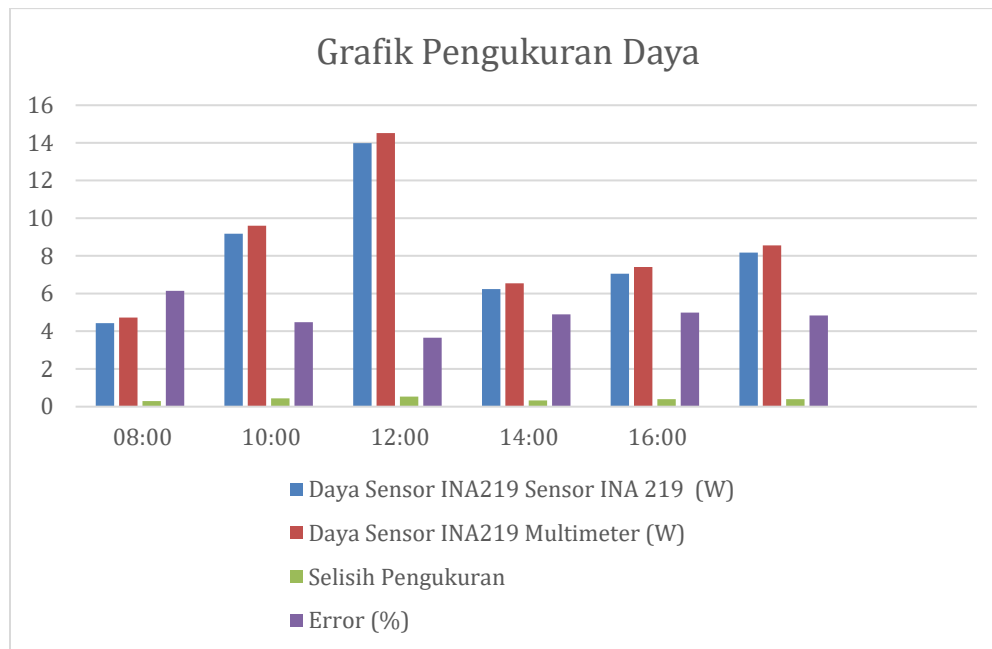
Gambar 7. Grafik arus INA219

Pengukuran Daya Sensor INA219

Tabel 3. Pengukuran daya Sensor INA219

No	Waktu (Jam)	Output daya INA219		Selisih Pengukuran	Error (%)
		Sensor INA 219 (W)	Multimeter (W)		
1	08:00	4.427	4.72	0.29	6.14
2	10:00	9.1784	9.6	0.43	4.48
3	12:00	13.9815	14.52	0.53	3.65
4	14:00	6.2328	6.545	0.32	4.89
5	16:00	7.0516	7.41	0.39	4.99
Rata-rata		8.17426	8.559	0.392	4.83
Akurasi		$100\% - 4.83\% = 95.17\%$			





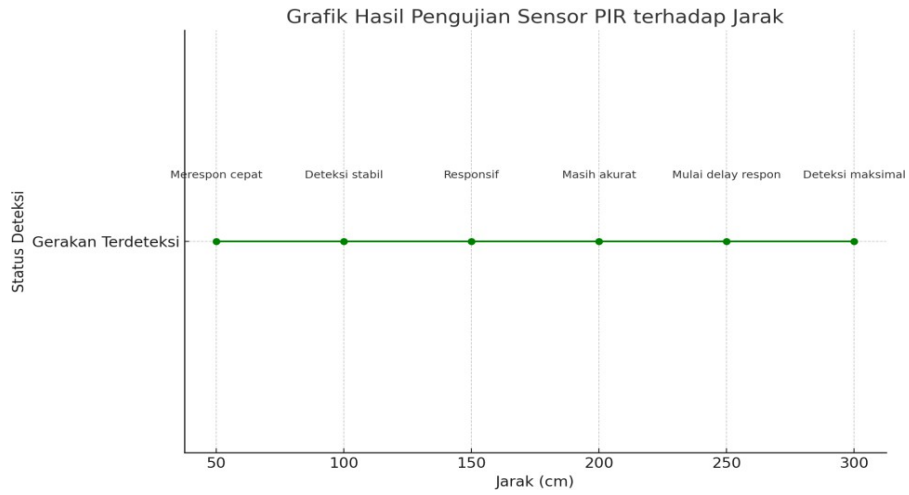
Gambar 8. Grafik Arus INA219

Pengujian Sensor PIR

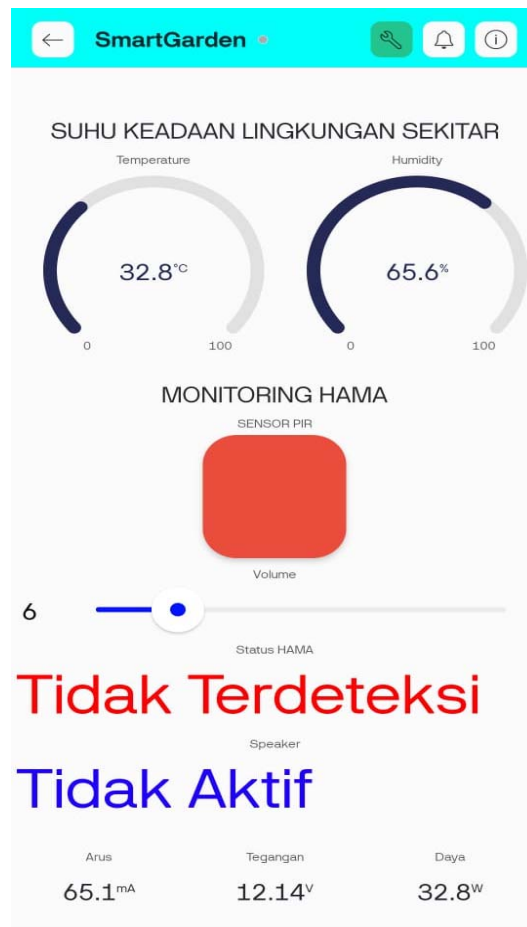
Tabel 4. Pengujia Sensor PIR

No	Jarak (cm)	Gerakan	Waktu Uji	Output Serial	Kondisi Cahaya	Keterangan Tambahan
1	50	Ya	10:00	Gerakan Terdeteksi	Terang	Sensor merespon cepat
2	100	Ya	10:05	Gerakan Terdeteksi	Terang	Deteksi masih stabil
3	150	Ya	10:10	Gerakan Terdeteksi	Terang	Responsif terhadap gerak
4	200	Ya	10:15	Gerakan Terdeteksi	Terang	Masih akurat
5	250	Ya	10:20	Gerakan Terdeteksi	Terang	Mulai delay respon
6	300	Ya	10:25	Gerakan Terdeteksi	Terang	Deteksi maksimal





Gambar 9. Grafik Sensor PIR

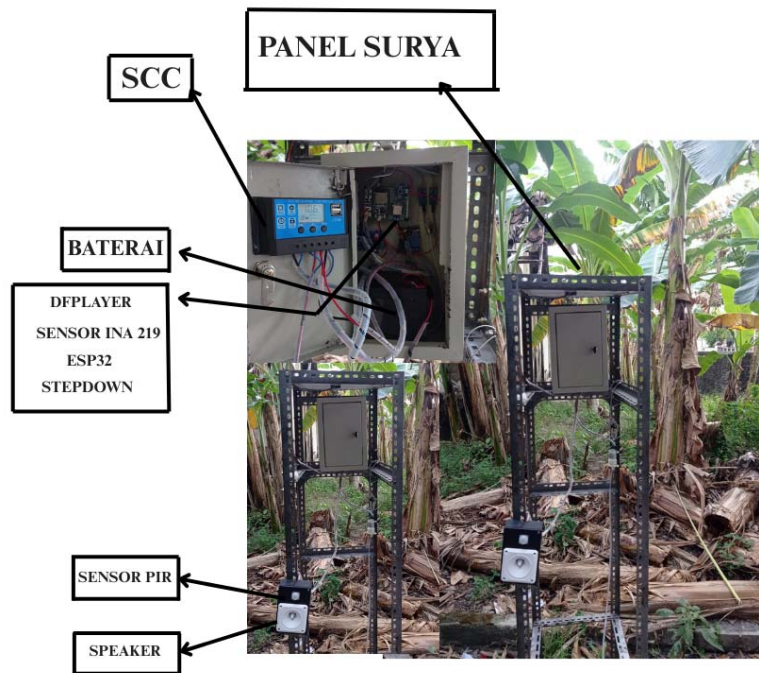


Gambar 10. Monitoring Hama



PEMBAHASAN

Sistem PLTS



Gambar 11. Sistem PLTS

Sistem pengukuran PLTS Sensor INA219

Pengukuran Tegangan

Pengukuran tegangan sensor INA219 dilakukan pada jam yang berbeda. Pertama pada pukul 08.00 sensor membaca tegangan sebesar 11.65 V dan multimeter membaca tegangan sebesar 11.8 V maka dihasilkan *error* sebesar 1.27%. Selanjutnya pada pukul 10.00 sensor membaca tegangan sebesar

11.92 V dan multimeter membaca tegangan sebesar 12 V maka dihasilkan *error* sebesar 0.67%. Kemudian pada pukul 12.00 sensor membaca tegangan sebesar 11.95 V dan multimeter membaca tegangan sebesar 12.1 V maka dihasilkan *error* sebesar 1.18%. Kemudian pada pukul 14.00 sensor membaca tegangan sebesar 11.76 V dan multimeter membaca tegangan sebesar 11.9 V maka dihasilkan *error* sebesar 1.18%. Untuk yang terakhir pada pukul 16.00 sensor membaca tegangan sebesar 11.56V dan multimeter



membaca tegangan 11.4 maka dihasilkan error sebesar 1.17. Dari pengukuran diatas didapatkan akurasi pengukuran sebesar 98.89%.

Berdasarkan grafik perbandingan antara sensor INA219 dan multimeter, pengukuran tegangan menunjukkan hasil yang cukup akurat dengan selisih nilai kecil pada setiap jam pengujian. Error tertinggi tercatat sebesar 1,27% pada pukul 08.00 dan error terendah sebesar 0,67% pada pukul 10.00. Rata-rata akurasi pengukuran mencapai 98,89%, menunjukkan bahwa sensor INA219 dapat diandalkan untuk memantau tegangan panel surya secara *real-time*.

Pengukuran arus Sensor INA219

Pengukuran arus menggunakan sensor INA219 menunjukkan bahwa pada pukul 08.00 sensor membaca arus sebesar 0.38 A dan multimeter sebesar 0.40 A dengan error 5.00%, pukul 10.00 sensor membaca 0.77 A dan multimeter 0.80 A dengan error 3.75%, pukul 12.00 sensor menunjukkan 1.17 A dan multimeter 1.20 A dengan error 2.50%, pukul 14.00 sensor membaca 0.53 A dan multimeter 0.55 A dengan error 3.64%, serta pada pukul 16.00 sensor membaca 0.61 A dan multimeter 0.65 A dengan error 6.15%, sehingga rata-rata error pengukuran sebesar 4.208% dan akurasi sensor INA219 dalam mengukur arus adalah sebesar 95.79%.

Grafik perbandingan arus antara sensor INA219 dan multimeter menunjukkan hasil yang cukup presisi dengan selisih kecil pada setiap waktu pengujian. Error terbesar tercatat sebesar 6,15% pada pukul 16.00 dan terkecil sebesar 2,50% pada pukul 12.00. Rata-rata akurasi pengukuran sebesar 95,79%, menandakan bahwa sensor INA219 cukup andal untuk memantau arus panel surya secara *real-time* meskipun terdapat variasi kecil pada beberapa pengukuran.

Pengukuran Daya Sensor INA219

Pengukuran daya sensor INA219 dilakukan pada jam yang berbeda. Pertama pada pukul 08.00 sensor membaca daya sebesar 4.42 W dan multimeter membaca daya sebesar 4.72 W maka dihasilkan error sebesar 6.14%. Selanjutnya pada pukul 10.00 sensor membaca daya sebesar 9.17 W dan multimeter membaca daya sebesar 9.6 W maka dihasilkan error sebesar 4.48%. Kemudian pada pukul 12.00 sensor membaca daya sebesar 13.98 W dan multimeter membaca daya sebesar 14.52 W maka dihasilkan error sebesar 3.65%. Terakhir pada pukul 14.00 sensor membaca daya sebesar 6.23 W dan multimeter membaca daya sebesar 6.54 W maka dihasilkan error sebesar 4.89%. Kemudian pada pukul 16.00 sensor membaca daya sebesar 7 W dan multimeter membaca daya sebesar 7.41. Dari pengukuran diatas didapatkan akurasi pengukuran sebesar 95.17%.



Grafik pengukuran daya antara sensor INA219 dan multimeter menunjukkan perbedaan yang masih dalam batas wajar. Error tertinggi tercatat sebesar 6,14% pada pukul 08.00 dan terendah sebesar 3,65% pada pukul 12.00. Rata-rata akurasi pengukuran daya mencapai 95,17%, menunjukkan bahwa sensor INA219 cukup andal untuk memantau daya secara real-time, meskipun terdapat sedikit deviasi dibandingkan multimeter.

Pengukuran Sensor PIR

Pengujian sensor PIR terhadap jarak deteksi gerakan, diperoleh bahwa sensor mampu mendeteksi gerakan secara efektif pada rentang jarak 50 cm hingga 300 cm. Pada jarak dekat antara 50 cm hingga 150 cm, sensor menunjukkan respons yang cepat dan stabil, tanpa adanya keterlambatan dalam mendeteksi gerakan. Saat diuji pada jarak menengah, yakni 200 cm hingga 250 cm, sensor masih mampu mendeteksi gerakan dengan akurat, meskipun mulai muncul sedikit keterlambatan respons. Pada jarak maksimal yaitu 300 cm, sensor tetap dapat mendeteksi gerakan, namun responsnya cenderung lebih lambat, menandakan bahwa sensor telah mendekati batas kemampuan deteksinya. Seluruh pengujian dilakukan dalam kondisi cahaya terang, dan tidak ditemukan pengaruh signifikan terhadap kinerja sensor karena PIR bekerja berdasarkan deteksi radiasi panas, bukan intensitas cahaya. Secara keseluruhan, sensor PIR bekerja optimal pada jarak kurang dari 2 meter, dan tetap fungsional hingga 3 meter, meskipun dengan penurunan kecepatan respons.

Monitoring Hama

Dari tampilan tersebut, dapat disimpulkan bahwa sistem *SmartGarden* berfungsi dengan baik dalam kondisi siaga. Sensor PIR bekerja untuk mendeteksi gerakan, namun saat pengambilan data, tidak ada hama yang terdeteksi sehingga sistem pengusir suara tidak diaktifkan. Suhu dan kelembaban lingkungan berada pada tingkat yang wajar untuk budidaya tanaman cabai. Selain itu, suplai daya sistem dari panel surya ke komponen utama dalam kondisi stabil dan efisien. Ini menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan monitoring otomatis secara real-time dan hemat energi, serta siap memberikan respon saat dibutuhkan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian, dapat disimpulkan bahwa sistem pengendali hama otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan dukungan energi dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) tipe off-grid telah berhasil dibuat dan berfungsi dengan baik. Sistem ini mampu mendeteksi keberadaan hama secara otomatis melalui sensor PIR dan merespons dengan mengaktifkan suara pengusir hama menggunakan speaker ultrasonik atau DFPlayer Mini yang terhubung ke speaker tweeter. Mikrokontroler ESP32 menjadi pusat kendali dan terintegrasi dengan aplikasi Blynk



untuk memantau sistem secara *real-time*. Pemantauan konsumsi daya dilakukan melalui sensor INA219, yang membantu menjaga efisiensi sistem. Secara keseluruhan, alat ini terbukti efektif membantu petani mengendalikan hama tanpa pestisida kimia, serta mendukung praktik pertanian ramah lingkungan dengan memanfaatkan energi terbarukan. Meskipun sistem telah bekerja sesuai harapan, masih terdapat peluang pengembangan seperti penambahan fitur notifikasi darurat, peningkatan kapasitas baterai, pengembangan antarmuka yang lebih informatif, serta pengendalian manual melalui aplikasi. Dengan inovasi lebih lanjut, sistem ini berpotensi diterapkan secara luas sebagai solusi teknologi cerdas dan berkelanjutan dalam pengendalian hama di sektor pertanian.

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah. Penulis mengucapkan puji syukur kepada Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan ini dengan baik. Shalawat dan salam juga tidak lupa tucurahkan kepada Nabi besar Muhammad SAW. Dengan terselesaikannya naskah publikasi ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua yang telah memberikan dukungan dan doa, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan lancar.
2. Dosen pembimbing penelitian ini, Bapak Aris Budiman, S.T., M.T yang telah memberikan arahan dan bimbingan kepada penulis dalam penyelesaian penelitian tugas akhir ini.
3. Bapak/Ibu dosen Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu dan bimbingan selama perkuliahan, sehingga membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian ini tanpa kendala.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Pujiastuti, et al., "Pengendalian Hama Terpadu pada Pertanaman Cabai dengan Aplikasi Bioinsektisida *Bacillus thuringiensis*," Prosiding PRIMA, 2021.
- [2] A. Zulkifli, A. Gunawan, and S. M. Rahayu, "Efektivitas penggunaan suara predator dan cahaya untuk mengusir burung pengganggu tanaman hortikultura," *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*, vol. 22, no. 2, pp. 123–130, 2018.
- [3] F. Naufal, E. Ariyanto, and H. H. Nuha, "Peningkatan pertumbuhan tanaman cabai menggunakan Smart Garden berbasis IoT," *LOGIC: Jurnal Penelitian Informatika*, vol. 1, no. 1, pp. 79–85, Sep. 2023.
- [4] I. M. Putra and H. Sujadi, "Rancang bangun alat perangkap hama pada tanaman cabai (*Capsicum annum* L) menggunakan mikrokontroler Arduino Uno dan sensor PIR



- berbasis Android," in Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro, Sistem Informasi, dan Teknik Informatika (SNESTIK), 2022.
- [5] A. Rachmawati, "Monitoring Tanaman Cabai dari Hama Ulat dengan Sensor PIR dan ESP32-CAM," Tugas Akhir, Univ. Teknologi Digital Indonesia, 2023.
- [6] D. A. Puryono and E. P. Pangestu, "Application of rice pest repellent using ESP32 microcontroller and IoT-based sound wave," *Jurnal Teknologi Rekayasa*, vol. 11, no. 1, pp. 74–80, 2023.
- [7] K. Yanel, "Alat Pengusir Hama Burung," *Manutech: Jurnal Teknologi Manufaktur*, vol. 15, no. 1, pp. 98–104, 2023.
- [8] A. Ariprihata, E. Erfandy, S. W. Susilo, and S. Sujito, "Rancang Bangun Panel Surya Off-Grid untuk Catu Daya Alat Pengusir Hama Tikus," *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 4, no. 3, pp. 224–245, 2023. doi: 10.14710/jebt.2023.19665.
- [9] A. Fadjeri, A. Darmawan, and I. Firmansyah, "Pemanfaatan energi terbarukan berbasis solar cell pada lahan cabai pasiran Tlogopragoto," *Community Development Journal UPN*, vol. 5, no. 6, pp. 33–41, 2024.
- [10] I. Syukhron, "Penggunaan Aplikasi Blynk untuk Sistem Monitoring dan Kontrol Jarak Jauh pada Sistem Kompos Pintar berbasis IoT," *Electrician*, vol. 15, no. 1, pp. 1–11, 2021. doi: 10.23960/elc.v15n1.2158.

