

INOVASI TEKNOLOGI CERDAS GELOMBANG AUDIOSONIK DAN ULTRASONIK UNTUK MENINGKATKAN PERTUMBUHAN SERTA KETAHANAN TANAMAN PADI TERHADAP HAMA DAN PENYAKIT

BERGAS FRENLI NUR VENDI¹, MUHAMMAD FADILA DWIPUTRA², SEPTIANI RAHAYU²,
ENENG TUTI ROSITA², MARSELLA ANGELINA¹, VIRA KUSUMA DEWI^{2*}

¹Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran,
Jl. Ir.Soekarno Km.21, Jatinangor 45363, Sumedang, West Java, Indonesia, Telp. 022-7796014

²Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran
Jl. Ir.Soekarno Km.21, Jatinangor 45363, Sumedang, West Java, Indonesia, Telp. 022-7796014

*Corresponding author

Email: vira.kusuma.dewi@mail.unpad.ac.id

Submitted: 02/05/2024

Accepted: 02/07/2025

Published: 20/08/2025

Abstrak. Serangan hama dan penyakit pada tanaman padi dapat menyebabkan penurunan produktivitas beras yang dapat memicu terjadinya krisis pangan. Penggunaan gelombang audiosonik dan ultrasonik diketahui dapat menjadi salah satu alternatif dalam memicu pertumbuhan serta tindakan preventif terhadap serangan hama dan penyakit tanaman. Sebagai upaya untuk mengatasi permasalahan tersebut, maka dirancang sebuah inovasi teknologi yang memanfaatkan gelombang suara berbasis IoT dan artificial intelligence. Pembuatan perangkat dilakukan melalui beberapa tahapan diantaranya perencanaan dan perancangan prototipe, pembuatan perangkat, penambahan fitur monitoring, pengembangan aplikasi android, pengembangan web server, pembuatan rangka dan integrasi modul GSM, yang diakhiri dengan uji fungsional serta uji teknologi. Dalam perancangannya, prototipe memadukan komponen-komponen seperti Arduino Mega R3 2560 built-in wi-fi, sparkfun MP3 player shield, amplifier, speaker audiosonik dan ultrasonik, ESP36-Cam, modul GSM, serta LCD display. Hasil yang didapat berupa perangkat fungsional TASER-2P yang dapat memacu pertumbuhan tanaman melalui mekanisme buka tutup stomata serta mengendalikan hama tikus sawah dan wereng. TASER-2P memiliki berbagai fitur seperti optimasi pertumbuhan, usir hama, dan induksi resistensi yang terintegrasi dalam satu kesatuan alat. Selain itu, terdapat fitur monitoring yang terhubung dengan AI dan aplikasi android.

Kata kunci: sonic bloom, preventif, monitoring, padi, pertanian

Abstract. Rice productivity can decrease due to pest and disease attacks on rice plants that can trigger food crisis. The implementation of audiosonic and ultrasonic waves is known as an alternative for growth stimulation and prevent pest and disease attacks on rice plants. The utilization of IoT-based sound waves and artificial intelligence was designed to solve this problem. Device manufacturing was carried out through several steps including planning and prototype designing, hardware construction, adding a field monitoring feature, Android app and web server system development, framework engineering and integrating the GSM module,



This work is licensed under a CC Attribution 4.0 International License.

DOI: <https://doi.org/10.24198/jiif.v9i2.65418>

e-ISSN: 2549-7014

ended with functional tests and technological testing. In it's design, the prototype combines components such as the Arduino Mega R3 2560 with built-in wi-fi, sparkfun MP3 player shield, amplifier, audio and ultrasonic speakers, ESP36-Cam, GSM module, and LCD display. The end result is a functional TASER-2P device that can stimulate plant growth through a mechanism which opens the stomatal cap and controls wild and rice field rats. TASER-2P has various features such as growth optimization, pest repellent, and disease resistance induction integrated into a single unit of tools. In addition, monitoring features are connected to AI and Android applications.

Keywords: sonic bloom, preventive, AI, monitoring

1. Pendahuluan

Kebutuhan konsumsi beras terus meningkat sejalan dengan pertumbuhan penduduk. Menurut BPS pada tahun 2023 Indonesia mengimpor beras sebanyak US\$ 202,04 juta, naik dari tahun sebelumnya yang bernilai US\$ 183,80 juta. Kenaikan nilai impor tersebut diduga karena pasokan beras nasional tidak mencukupi kebutuhan pangan [1]. Data BPS pada tahun 2022 menunjukkan bahwa tren produksi beras 5 tahun terakhir mengalami penurunan dari 22,94 juta ton menjadi 31,54 juta ton, sedangkan tren konsumsi beras nasional mengalami peningkatan dari 29,57 juta ton menjadi 30,2 juta ton. Menurut [2] salah satu penyebab penurunan produksi tersebut yaitu serangan Organisme Pengganggu Tanaman (OPT) dengan potensi kehilangan 25–100%. Hal ini sesuai dengan tren global yang menyatakan bahwa OPT dapat menyebabkan potensi kehilangan hasil sebesar 40% [3].

Serangan hama dan penyakit akan fatal apabila menyerang pada periode kritis padi karena dapat memperbesar terjadinya puso. Penyakit umum yang kerap ditemukan adalah penyakit hawar daun bakteri yang disebabkan oleh *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* dengan persentase kehilangan hasil mencapai 35% [4]. Selanjutnya, menurut [5] hama wereng batang coklat (*Nilaparvata lugens*) juga merupakan hama utama dengan penyebaran mencapai 40.000 ha dan menyebabkan kerugian mencapai Rp 39,9 miliar. Selain wereng, kerugian padi juga dapat disebabkan oleh tikus. Menurut [6], kerugian produksi padi akibat serangan tikus sawah (*Rattus argentiventer*) dapat mencapai sekitar 60–70% dan berpotensi terjadi puso.

Sampai saat ini, usaha untuk meningkatkan produktivitas padi yaitu dengan menggunakan teknologi pendukung pertumbuhan yang tengah dalam pengembangan adalah agri-robotika. Teknologi ini berperan dalam proses penanaman dan perawatan tanaman, serta memiliki potensi untuk mengurangi penggunaan pestisida [7]. Namun hingga saat ini, penggunaan teknologi ini belum dapat diadopsi secara luas karena biaya operasional yang tinggi dan risiko kerusakan penerapan yang kompleks [8].

Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penerapan teknologi audio pada frekuensi 100 Hz memiliki kemampuan untuk merangsang pertumbuhan serta daya tahan akar dalam sistem tanam hidroponik. Meskipun demikian, masih terdapat potensi bahwa teknologi ini dapat mempengaruhi pertumbuhan dan daya tahan tanaman secara keseluruhan. Namun sampai saat ini, teknologi tersebut baru diterapkan dalam skala kecil pada sistem hidroponik dan belum berhasil menggabungkan keuntungan dari ketiga aspeknya dalam dua perangkat yang berbeda menjadi satu kesatuan. Teknologi monitoring yang telah diterapkan dalam pemantauan suatu lahan pertanian yaitu teknologi Unmanned Aerial Vehicles (UAV) atau drone [9]. Akan tetapi, teknologi ini

hanya dapat memantau dan mendeteksi dini serangan hama dan penyakit dari jauh tetapi tidak diketahui jenis hama maupun penyakit yang menyeranginya [10].

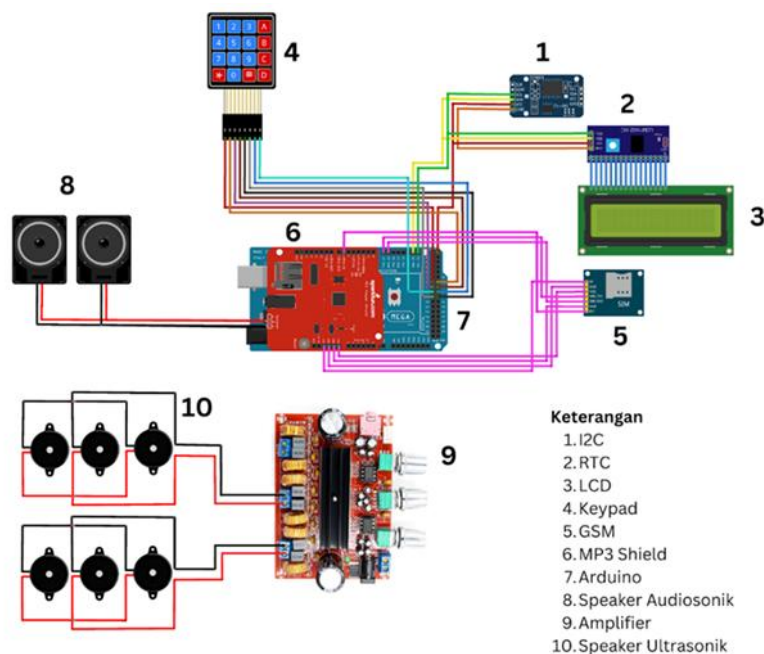
Berdasarkan uraian tersebut, diperlukan inovasi teknologi cerdas penunjang produktivitas padi dengan kendali jarak jauh IoT yang dilengkapi sistem monitoring OPT berbasis AI. Teknologi yang digunakan untuk treatment patogen dan optimasi pertumbuhan memanfaatkan gelombang audiosonik (0,6 kHz–7 kHz) dan suara predator alami hama. Sedangkan gelombang ultrasonik (42 kHz) digunakan untuk mengusir hama wereng batang coklat. Gelombang yang dipancarkan dapat dikendalikan frekuensinya dengan IoT. Teknologi ini dibuat untuk memudahkan dan mengoptimalkan petani dalam melakukan pengawasan, treatment, serta peningkatan laju pertumbuhan tanaman padi di sawah.

2. Metode Penelitian

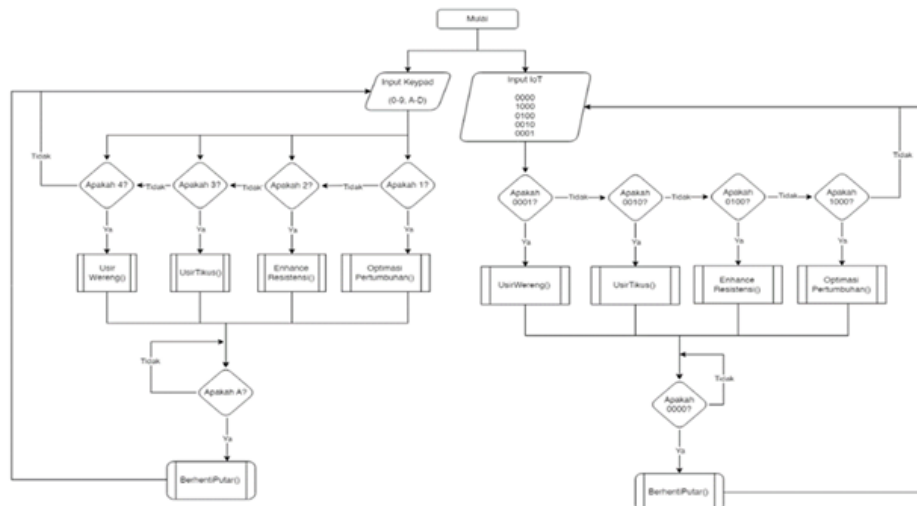
Kegiatan dilaksanakan secara luring di Universitas Padjadjaran dari Juli - Oktober 2023. Metode pelaksanaan yang dilakukan pada kegiatan ini meliputi studi literatur, perencanaan dan perancangan prototipe, pembuatan prototipe, uji fungsional, uji teknologi, dan evaluasi serta penyempurnaan.

2.1 Perencanaan dan Perancangan Prototipe

Tahap perencanaan dan perancangan prototipe meliputi pembuatan skema alur komunikasi perangkat dengan web server, pemilihan alat dan bahan, pemilihan provider hosting web, pembuatan desain alur kerja perangkat, dan pembuatan diagram electronic wiring (Gambar 1), pembuatan flowchart algoritma perangkat (Gambar 2).



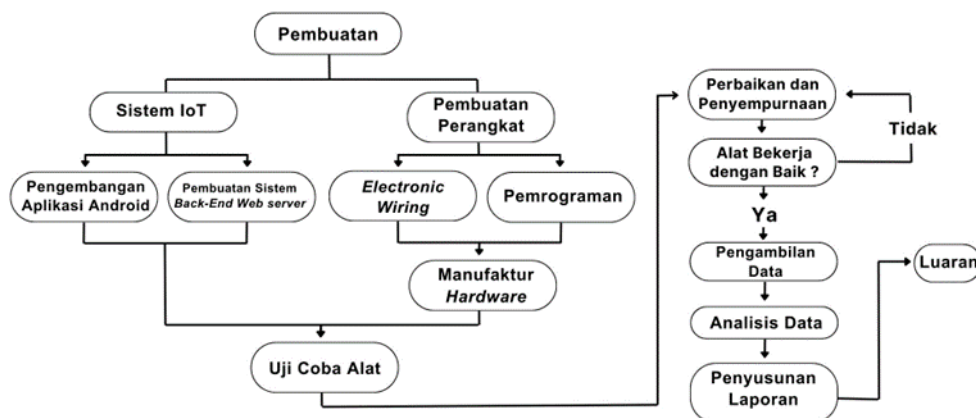
Gambar 1. Electronic wiring



Gambar 2. Flowchart algoritma perangkat

2.2 Pembuatan Perangkat Prototipe

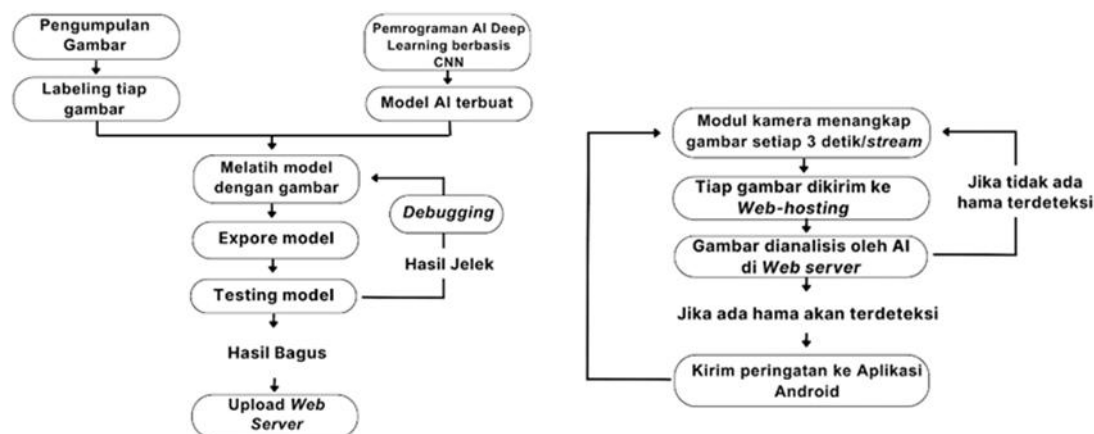
Pembuatan perangkat dilakukan di Laboratorium Instrumentasi Departemen Fisika Universitas Padjadjaran pada bulan Juli - Agustus 2023. Pembuatan perangkat audiosonik menggunakan Arduino Mega R3 2560 Built-In Wi-Fi dan Sparkfun MP3 Player Shield yang dihubungkan dengan amplifier dan sepasang speaker audio. Rangkaian ultrasonik terdiri atas amplifier Class D dan 6 buah speaker ultrasonik yang dibagi menjadi 2 rangkaian paralel, terhubung dengan pin output Arduino Mega. Arduino Mega 2560 diprogram untuk mengatur pemberian perintah output suara ultrasonik atau audiosonik (Gambar 3).



Gambar 3. Pembuatan dan Cara Kerja

2.3 Penambahan Fitur Monitoring dan Pengembangan Aplikasi Android

Fitur monitoring dibuat dengan menggunakan ESP32-Cam sebagai sensor kamera berbasis IoT yang mengirimkan gambar terbaru tiap 3 detik sekali ke web server. Di dalam web server, terdapat AI untuk object detection dengan algoritma YOLOv7. Aplikasi android dibuat berdasarkan desain mockup dan dikembangkan menggunakan Kotlin untuk pemrograman, Android Studio sebagai IDE, Jetpack Compose untuk pembuatan UI native, dan Retrofit untuk HTTP Client untuk komunikasi dengan web server. Cara kerja dan pembuatan fitur monitoring (Gambar 4).



Gambar 4. Cara kerja dan pembuatan fitur monitoring

2.4 Pengembangan Web Server

Web server dikembangkan menggunakan shared-hosting berbayar yang memiliki cPanel. Web Server digunakan sebagai landing-page berisi informasi seputar alat, dan sebagai back-end kontrol IoT prototipe perangkat. Pemrograman web server menggunakan bahasa PHP, dan pembuatan tabel-tabel database menggunakan MySQL.

2.5 Pembuatan Rangka Manufaktur dan Pengintegrasian Modul GSM

Pembuatan rangka manufaktur terdiri dari 3 tahapan, yaitu mendesain electronic wiring, penyusunan komponen elektronik serta pemrograman mikrokontroler dengan Arduino IDE. Perangkat audiosonik digabungkan dengan rangkaian LCD + I2C dan modul keypad. Pengintegrasian sistem komunikasi dalam web server dapat menggunakan Wi-Fi dan GSM 4G LTE SIM 7600. Rangkaian elektronik dirakit ke dalam casing dan digabung dengan orang-orangan sawah yang terbuat dari rangkaian besi.

2.6 Uji Fungsional Prototipe

Pengujian pengaruh prototipe terhadap tikus dilaksanakan pada malam hari dengan durasi paparan suara predator serta ultrasonik selama 10 menit dan waktu interval 5 menit pada tiap perlakuannya. Pengujian dilakukan menggunakan 3 ekor tikus sawah yang diletakan dalam T-Maze. Pengujian wereng menggunakan suara ultrasonik yang dilaksanakan pada pagi hari selama 3 jam pada 3 wereng yang berbeda. Optimasi pertumbuhan tanaman padi dilakukan pada pagi hari dengan durasi paparan suara audiosonik selama 3 jam dari pukul 09.00 s.d 12.00 WIB. Inokulasi bakteri *X. oryzae* dilakukan saat padi berusia 16 hari setelah semai (HSS). Teknik yang digunakan untuk inokulasi ialah metode penyemprotan ke daun tanaman padi yang telah dilukai dengan kerapatan hingga 108 sebanyak 5 mL pada setiap padi dalam ember.

2.7 Uji Teknologi Prototipe

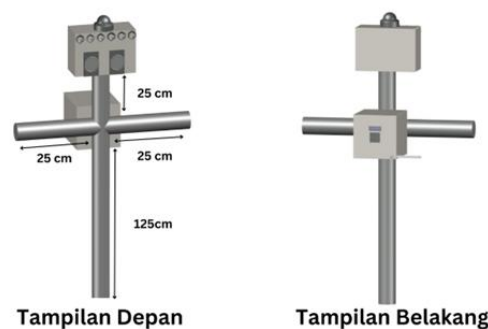
Pengujian speaker audiosonik diukur menggunakan desibel meter untuk mengukur Sound Pressure Level (SPL) pada jarak-jarak tertentu. Pengujian dilakukan di Laboratorium Instrumentasi dan Hardware Departemen Fisika Universitas Padjadjaran. Osiloskop digunakan untuk mengukur frekuensi speaker dan memastikan frekuensi yang dikeluarkan sesuai dengan frekuensi yang diprogram pada mikrokontroler. Pengujian sensor kamera dan artificial intelligence dilakukan di lahan persawahan pada tanggal 10 Oktober 2023 dengan memeriksa data tangkapan gambar yang terkirim ke

web server. Pengujian konsumsi daya dilakukan pada tanggal 9 Oktober 2023 menggunakan kWh energy meter dan didapatkan daya maksimum 53,8 kWh. Evaluasi dilakukan dengan menganalisis terhadap data pengujian dan kondisi pengujian dari masing-masing fitur prototipe melalui Focus Group Discussion dan validasi beberapa ahli serta dosen pembimbing. Output yang dihasilkan berupa pemecahan masalah yang dilaporkan dalam bentuk laporan kemajuan dan laporan akhir.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Prototipe Alat dan Aplikasi

Prototipe TASER-2P berbentuk orang-orangan sawah dengan tinggi rangka 150 cm dan lebar 50 cm. Pada input-output panel terdapat aktuator berupa speaker ultrasonik dan audiosonik, amplifier, dan sensor kamera ESP32-Cam dengan resolusi maksimum 2 Megapixel. Speaker audio memancarkan suara dengan SPL sebesar 109 dB(A) pada jarak 20 cm dari sumber suara (Tabel 1). Jangkauan efektif audiosonik sejauh 95 m, dengan prediksi SPL 60 dB(A). Pada control panel terdapat mikrokontroler, LCD, dan keypad (Gambar 5). Konsumsi daya minimum dan maksimum masing-masing sebesar 10.5 Watt dan 20 Watt.



Gambar 5. Tinggi rangka, tampak depan dan belakang

3.2 Fitur, kendali dan Monitoring

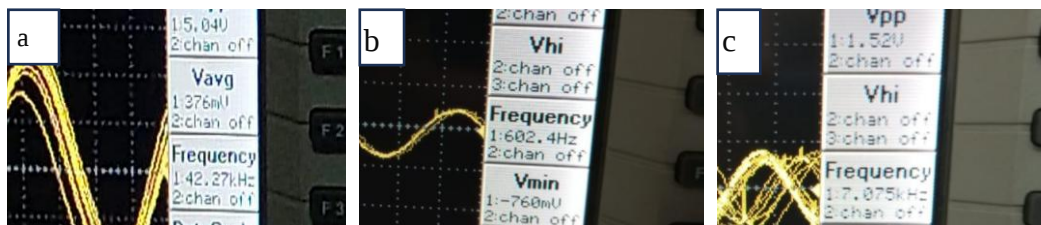
TASER-2P memiliki berbagai fitur seperti optimasi pertumbuhan dan pengusir hama tikus menggunakan speaker audiosonik, pengusir wereng menggunakan speaker ultrasonik, serta monitoring menggunakan sensor kamera ESP32-Cam yang dapat dioperasikan dari jauh melalui aplikasi android. TASER-2P dapat dikendalikan secara manual menggunakan keypad dan IoT dengan Wi-fi atau GSM. Skema alur komunikasi TASER-2P dapat dilihat pada (Gambar 6).



Gambar 6. Skema Alur Komunikasi TASER-2P

3.3 Sistem Aktuator Audiosonik dan Ultrasonik

Aktuator TASER-2P telah diukur dengan pengukuran yang meliputi pengukuran frekuensi audiosonik dengan osiloskop untuk fitur optimasi pertumbuhan dan peningkatan resistensi tanaman (Gambar 7b, 7c), pengukuran frekuensi ultrasonik untuk fitur pengusiran wereng menggunakan osiloskop yang dihubungkan pada ultrasonic tweeter (Gambar 7a), dan pengukuran Sound Pressure Level (SPL) atau kekuatan suara perangkat audiosonik.



Gambar 7. (a) Pengukuran frekuensi speaker ultrasonik fitur pengusiran wereng; (b) audiosonik fitur optimasi pertumbuhan; (c) audiosonik fitur resistansi penyakit

Frekuensi yang dikeluarkan oleh perangkat audiosonik dan ultrasonik sesuai dengan perintah yang diberikan oleh program mikrokontroler. Dengan rerata frekuensi 42 kHz pada speaker ultrasonik (Gambar 7a), 0,6 kHz pada speaker audiosonik saat diberi perintah optimasi pertumbuhan (Gambar 7b), 7 kHz pada speaker audiosonik saat diberi perintah meningkatkan resistensi (Gambar 7c).

Tabel 1. Pengaruh jarak terhadap Sound Pressure Level (SPL)

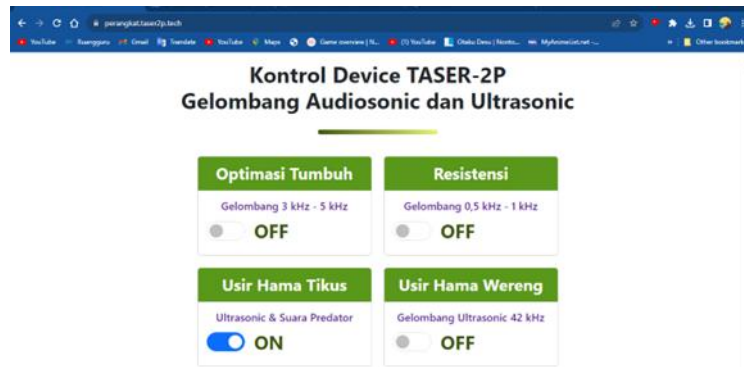
Jarak	SPL (Sound Pressure Level)
0,2 m	109 dB (A)
2 m	95.6 dB (A)
3 m	90.2 dB (A)



Gambar 8. (a) Pengukuran SPL pada jarak 10 cm; (b) pengukuran SPL pada jarak 2 m; (c) pengukuran SPL pada jarak 3 m

3.4 Komunikasi Data

Alat dapat berkomunikasi dengan aplikasi android lewat perantara web server. Aplikasi android dan website dapat digunakan untuk memberi perintah pada mikrokontroler, dan sensor kamera digunakan untuk mengirim data gambar ke web server yang dapat diakses melalui website dan aplikasi android (Gambar 9).



Gambar 9. Kendali IoT TASER-2P melalui website

3.5 Hasil Uji Fungsi Kamera

Sensor Kamera memiliki resolusi maksimal 2 MP (Gambar 10). Aplikasi android dan website dapat digunakan untuk memberi perintah pada mikrokontroler, dan sensor kamera digunakan untuk mengirim data gambar ke web server yang dapat diakses melalui website dan aplikasi android (Gambar 9).



Gambar 10. Hasil uji fungsi sensor kamera

3.6 Konsumsi Daya

Uji dilakukan pada jam 10.46 WIB (Gambar 11a) dengan bantuan kWh meter untuk menghitung konsumsi daya listrik TASER-2P. Pengukuran konsumsi daya minimum dilakukan dengan mengukur konsumsi daya prototipe TASER-2P yang dibiarkan dalam keadaan menyala tanpa memutar suara audiosonik maupun ultrasonik. Pengukuran konsumsi daya maksimum dilakukan dengan mengukur konsumsi daya prototipe TASER-2P yang sedang memutar suara.



Gambar 11. (a) Penggunaan daya normal pada pukul 10.46 WIB; (b) pada Pukul 15.36 WIB; (c) daya minimum pada pukul 15.36 WIB; (d) pukul 01.06 WIB

Berikut perhitungan daya listrik yang digunakan

$$P = \frac{E_t - E_o}{t - t_o} = \frac{(53.8 \text{ kWh} - 53.7 \text{ kWh})}{4.816667 \text{ H}} = \frac{0.1 \text{ kWh}}{4.816667 \text{ H}} = 20.7 \text{ W}$$

Berikut perhitungan daya listrik yang digunakan

$$P = \frac{E_t - E_o}{t - t_o} = \frac{(53.9kWH - 53.7kWH)}{9.5H} = \frac{0.1kWH}{9.5H} = 10.5W$$

3.7 Hasil Tes Kemampuan Fitur Audiosonik

Berdasarkan hasil uji fungsi alat yang menggunakan audiosonik maka dapat diketahui pengaruhnya terhadap perilaku tikus sawah (Tabel 2).

Tabel 2. Hasil uji fungsi alat pada tikus sawah dengan berbagai suara predator

Jenis Suara	Gelombang	Pengujian ke-		
		1	2	3
Kontrol		Aktif	Aktif	Aktif
Burung Elang		Diam	Menjauhi Pakan	Diam
Burung Hantu		Diam	Menjauhi Pakan	Diam
Ular		Aktif	Aktif	Aktif
Tikus Kesakitan		Diam	Diam	Diam

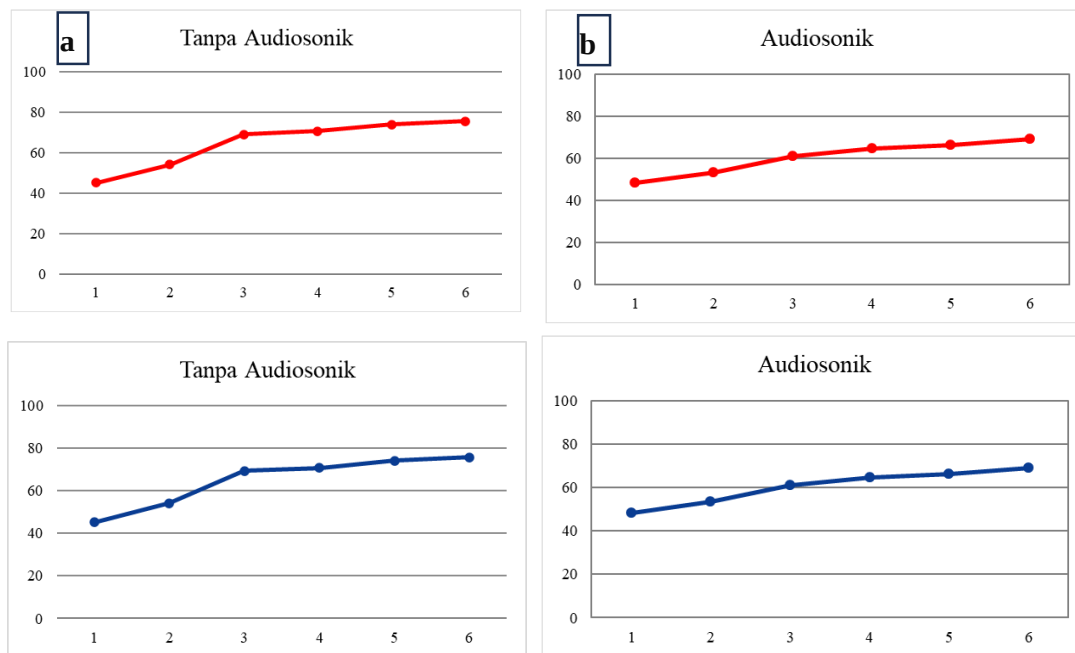
Pemberian suara predator berpengaruh terhadap perilaku tikus sawah (Tabel 2). Hal tersebut terjadi karena suara yang diberikan dapat mengganggu aktivitas tikus yang awalnya aktif bergerak menjadi pasif bahkan diam [11]. Suara tikus memberikan pengaruh yang paling nyata karena pada suara ini tikus akan memberikan sinyal kepada tikus lain untuk tidak mendekati area tersebut dikarenakan ada bahaya melalui feromon serta air seninya [12]. Selain itu, sifat alami tikus yang selalu waspada terhadap segala sesuatu yang ada di sekitarnya menjadi salah satu faktor yang menyebabkan tikus cenderung diam ketika diberi paparan suara [13].

Tabel 3. Hasil uji fungsi alat dengan suara audiosonik terhadap konduktansi stomata

Perbandingan	Konduktansi stomata (mmol/m ² s)		
	1	2	3
Prototipe tanpa audiosonik	268.4	262.5	264.9
Prototipe dengan audiosonik	362.9	416	328

Berdasarkan hasil pengamatan konduktansi stomata, suara audiosonik berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman padi (Tabel 3). Hal tersebut dikarenakan paparan suara menyebabkan stomata bergetar sehingga pembukaannya lebih lebar dan laju fotosintesis serta pertumbuhan akan meningkat. Hal ini selaras dengan prinsip pemanfaatan gelombang audiosonik dapat merangsang pembukaan stomata dengan menghasilkan energi di sekitar tanaman [14]. Selain itu, fitur audiosonik dapat menekan laju perkembangan penyakit hawar daun bakteri pada tanaman padi (Gambar 12a, 12b).

Laju perkembangan penyakit yang disebabkan oleh *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* dalam satuan persen/hari menunjukkan tidak terjadinya perbedaan yang nyata antara paparan suara dan tanpa paparan suara. Akan tetapi, laju perkembangan penyakit pada tanaman yang diberi paparan suara cenderung konstan dan sedikit lebih rendah daripada tanpa paparan. Padi yang diberi paparan suara audiosonik menunjukkan periode laten yang lebih lambat dibandingkan dengan padi tanpa paparan suara. Berdasarkan prinsip segitiga penyakit, hal tersebut diduga kuat terjadi karena varietas padi Ciherang yang digunakan memiliki ketahanan yang rendah terhadap hawar daun bakteri sehingga laju perkembangan penyakit menjadi cepat [15].



Gambar 12. (a) hasil uji fungsi alat tanpa audiosonik; (b) dengan audiosonik

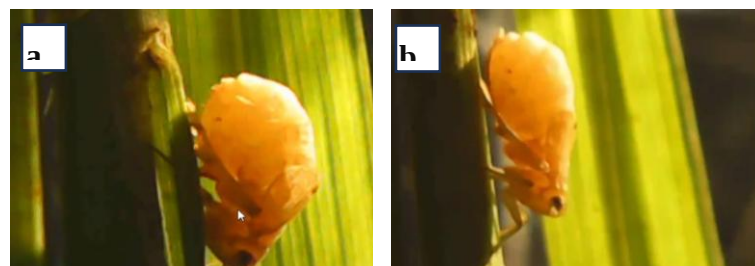
3.8 Hasil Tes Kemampuan Fitur Ultrasonik

Pemberian suara ultrasonik berpengaruh terhadap pola perilaku wereng ditunjukkan pada Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. Hasil uji fungsi alat pada wereng

Keterangan	Pengujian ke-		
	1	2	3
Prototipe tanpa ultrasonik	Aktif bergerak	Pasif bergerak	Aktif bergerak
Prototipe dengan ultrasonik	Terganggu	Pasif bergerak	Pasif bergerak

Berdasarkan hasil uji fungsi alat didapatkan bahwa wereng yang tidak dipaparkan suara ultrasonik memiliki rata-rata pola perilaku aktif bergerak dan dapat menusukan ovipositor (Gambar 13b) sedangkan ketika diberi suara ultrasonik wereng menjadi terganggu dan pergerakannya menjadi pasif (Gambar 12a). Perubahan perilaku wereng diduga kuat terjadi karena adanya efek mekanik dalam jaringan yang menyebabkan timbulnya percepatan partikel, getaran tekanan, tekanan pemancar, serta gaya gesek. Akibatnya paparan gelombang ultrasonik dapat mengganggu sistem komunikasi wereng sehingga menjadi pasif bergerak dan mengganggu proses peletakan telur kedalam tanaman padi [16].



Gambar 13. (a) dengan ultrasonik; (b) tanpa ultrasonik

4. Kesimpulan

TASER-2P dapat mengeluarkan suara audiosonik sebesar 109 dB pada jarak 20 cm dari sumber suara dengan jangkauan efektif sejauh 95 m. Cakupan frekuensi speaker ultrasonik mencapai 42 kHz dengan konsumsi daya yang digunakan adalah 10,5 W - 20,7 W. Komponen audiosonik mampu membantu mengusir tikus sawah, optimasi pertumbuhan dan resistensi. Komponen ultrasonik mampu membantu pengusiran wereng batang coklat. Fitur monitoring yang dilengkapi sensor kamera dapat menangkap gambar setiap 3 detik yang kemudian diunggah ke web server.

Daftar Pustaka

1. Hasanah, L. 2022. Analisis faktor-faktor pengaruh terjadinya impor beras di Indonesia setelah swasembada pangan. *Jurnal Ilmiah Ekonomi Pembangunan*, 1(2): 57-72.
2. Sudewi, S., Ala, A., Baharuddin & Farid, M. 2020. Keragaman organisme pengganggu tanaman (OPT) pada varietas unggul Bary (VUB) dan varietas lokal pada percobaan semi lapangan. *Jurnal Agrikultura*, 31(1): 15-24.
3. FAO. 2021. Climate change fans spread of pests and threatens plants and crops, new FAO study. URL: <https://www.fao.org/news/story/en/item/1402920/icode/> Diakses tanggal 27 September 2023.
4. Nuryanto, B. 2018. Pengendalian penyakit tanaman padi berwawasan lingkungan melalui pengelolaan komponen epidemik. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*, 37(1): 1-12.
5. Widiarta & Nyoman, I. 2021. Information technology based decision support system for integrated pest management on rice. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*, 40(1): 9-20.
6. Wardah, E. & Budi, S. 2023. Pemberdayaan petani padi sawah melalui pemanfaatan burung hantu (*Tyto alba*) untuk pengendalian hama tikus (*Rattus argentiventer*) di Gampong Pulo Iboh Kecamatan Kuta Makmur. *Jurnal Solusi Masyarakat Dikara*, 3: 12-16.
7. Permadi, Y., Prayogo, S. S. & Kusuma, T. M. 2021. Robot edukasi pertanian AGRIROBOT-I: rancangan elektronika dan sistem penggerak. *Jurnal Ilmiah Informatika Komputer*, 26(1): 1-12.
8. Ranjitha, B., Nikhitha, M. N., Aruna, K., Afreen & Murthy, B. T. V. 2019. Solar powered autonomous multipurpose agricultural robot using Bluetooth/Android app. *Prosiding 3rd International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA 2019)*.
9. Farid, M., Ridwan, I., Adzima, A. F. & Anshori, M. F. 2021. Penggunaan pesawat tanpa awak (drone) dalam melakukan pemantauan dan identifikasi otomatis pada pertanaman jagung di kelompok tani Pattarowangta, Kabupaten Takalar. *Jurnal Dinamika Pengabdian*, 7(1): 191-201.
10. Wang, S., Shao, Y., Duan, J., He, H. & Xiao, Q. 2022. Effects of sound wave and water management on growth and Cd accumulation by water spinach (*Ipomoea aquatica* Forsk.). *Agronomy*, 12(10). <https://doi.org/10.3390/agronomy12102257>
11. Bari, I. N. 2017. Pengaruh suara predator terhadap metabolisme dan aktivitas harian tikus sawah (*Rattus argentiventer*) di laboratorium. *Jurnal Agrikultura*, 28(3): 157-160.

12. Anggara, A. W., Solihin, D. D., Manalu, W. & Irzaman. 2015. Ethogram perilaku alami individu tikus sawah (*Rattus argentiventer* Robinson and Kloss, 1916) dalam laboratorium. *Zoo Indonesia*, 24(2): 95-108.
13. Modlinska, K. & Stryjek, R. 2016. Food neophobia in wild rats (*Rattus norvegicus*) inhabiting a changeable environment—a field study. *PLOS One*, 11(6): 1-12.
14. Ai, N., Rumbaya, J., Anggini, P., Supit, P. & Ludong, D. 2021. Potensi metode sonic bloom untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman. *Jurnal MIPA*, 10(2): 76-80.
15. Susanti, V., Nurcahyanti, S. D. & Masnilah, R. 2018. Perkembangan penyakit dan pertumbuhan lima varietas padi (*Oryza sativa* L.) dengan sistem tanam blok. *Jurnal Agroteknologi Tropika*, 7(1): 8-19.
16. Utama, S. & Setyaningrum, H. 2020. Optimasi sistem kontrol 'outwere' hama wereng coklat menggunakan gelombang ultrasonik. *Informatika Pertanian*, 29(1): 55-62.