

PENGUSIR HAMA TIKUS MENGGUNAKAN GELOMBANG ULTRASONIK DENGAN SISTEM OTOMASI *IoT* BERBASIS MIKROHIDRO PADA IRIGASI PERSAWAHAN DESA PABLENGAN KARANGANYAR

Daniswara Hasta Pratama^{1*}, Sujono¹, Dika Murti Riyanto¹, M. Sulaiman Galih A¹

¹Teknik Mesin Kilang, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Cepu, Blora, 58315

^{*}E-mail: daniswarahp2005@gmail.com

ABSTRAK

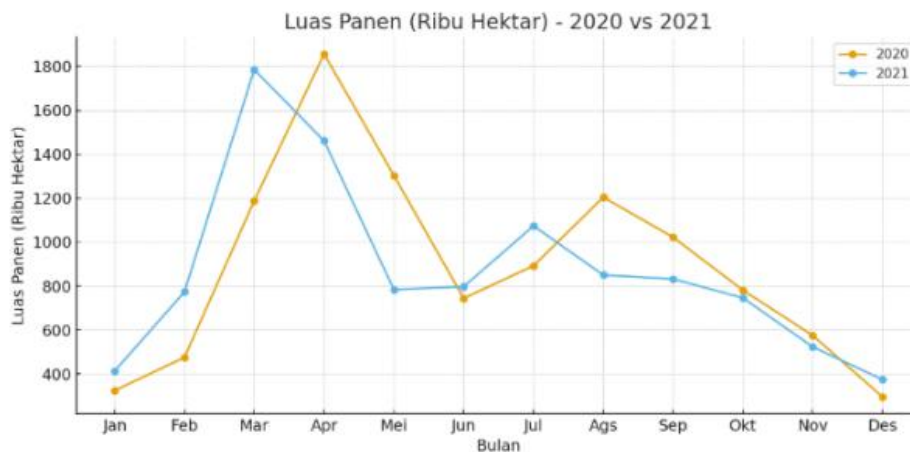
Desa Pablengan di Kabupaten Karanganyar merupakan wilayah pertanian yang rentan terhadap serangan hama tikus, sehingga menimbulkan penurunan produktivitas padi dan potensi kerugian ekonomi. Metode pengendalian konvensional seperti racun kimia dan perangkap masih kurang efektif serta menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan. Penelitian ini mengembangkan sistem pengusir hama tikus berbasis gelombang ultrasonik yang diintegrasikan dengan otomasi *Internet of Things* (IoT) dan memanfaatkan energi mikrohidro sebagai sumber daya utama. Proses penelitian meliputi survei debit dan *head* aliran irigasi, perhitungan potensi daya turbin *screw*, serta perancangan sistem kendali ultrasonik berbasis *IoT*. Hasil pengukuran menunjukkan debit air sebesar 0,39 m³/s dengan *head* 1 m, menghasilkan daya mikrohidro 3,82 kW, cukup untuk mengoperasikan speaker ultrasonik frekuensi 20–60 kHz dengan jangkauan efektif 300 m². Sistem bekerja otomatis mengikuti pola aktivitas tikus dan dapat dioperasikan jarak jauh melalui *IoT*. Implementasi menunjukkan kemampuan mengurangi aktivitas tikus tanpa menimbulkan kebisingan dan tanpa penggunaan bahan kimia. Solusi ini mendukung efisiensi energi, pengurangan biaya operasional petani, serta penerapan energi terbarukan dalam sektor pertanian menuju praktik budidaya ramah lingkungan dan mendukung target *Net Zero Emission*.

Kata kunci: *Internet of Things*, Mikrohidro, Otomasi, Pengusir Tikus, Ultrasonik

1. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi sumber daya alam yang melimpah, terutama pada sektor pertanian. Sistem pertanian yang berada pada desa-desa sudah seharusnya diikuti dengan perkembangan teknologi supaya dapat memaksimalkan produktivitas, pengendalian hama tikus menggunakan cara konvensional tidak efektif karena masih memerlukan tenaga manusia sebagai sumber tenaga utama disisi lain penggunaan pestisida dapat merusak lingkungan dan berbahaya bagi kesehatan oleh karena itu penambahan teknologi harus menjadi perhatian khusus untuk menunjang kegiatan pertanian terutama di desa [1].

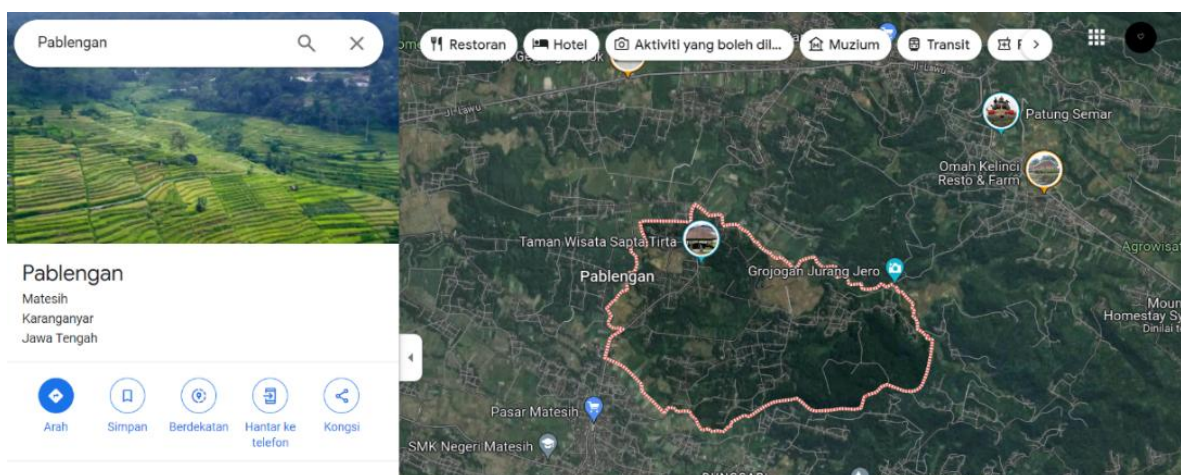
Gambar 1 merupakan perkembangan luas panen padi di Inonesia menurut BPS pada tahun 2020 – 2021. Berdasarkan hasil Survei KSA, terjadi perubahan pola panen padi di Indonesia pada tahun 2021 dibandingkan dengan pola panen pada tahun 2020. Pada tahun 2021 puncak panen terjadi di bulan Maret, lebih awal daripada tahun 2020 di mana puncak tersebut jatuh pada bulan April. Pada kedua tahun tersebut, tepatnya pada bulan Desember mencatatkan bahwa luas panen berada di titik terendah. Total luas panen padi di tahun 2021 mencapai 10,41 juta hektar, dengan angka panen tertinggi di bulan Maret yaitu 1,79 juta hektar dan angka panen terendah di bulan Desember, yaitu sekitar 0,37 juta hektar. Jika dilihat dari tahun 2020, luas panen padi tahun 2021 mengalami penurunan sekitar 245,47 ribu hektar, atau setara dengan 2,30 persen [2].



Gambar 1. Perkembangan Luas Panen Padi di Indonesia [2]

Selain menyediakan perkiraan area panen, survei kerangka sampel area (KSA) juga menyajikan informasi mengenai fase-fase krusial dalam pertumbuhan padi, seperti luas untuk fase vegetatif awal, vegetatif akhir, generatif, kemungkinan terjadi gagal panen, serta luas lahan sawah dan ladang yang tidak sedang ditanami padi [3]. Berdasarkan data yang ada maka kita berinovasi untuk membuat suatu alat untuk mengurangi hama tikus yang merupakan salah satu penyebab utama terjadinya penurunan hasil panen [4].

Inovasi ini mengutamakan prinsip ramah lingkungan melalui pemanfaatan sistem mikro-hidro sebagai sumber energi utama yang memanfaatkan aliran irigasi secara berkelanjutan [5]. Selain itu, perangkat dirancang dengan sistem otomasi berbasis *Internet of Things (IoT)* sehingga dapat dikendalikan dari jarak jauh untuk meningkatkan efisiensi operasional pada lahan pertanian [6]. Alat ini juga menggunakan gelombang ultrasonik dengan frekuensi di atas 20.000 Hz yang tidak terdengar oleh manusia, namun efektif mengganggu pendengaran tikus sehingga mampu mengusirnya tanpa menghasilkan kebisingan [7]. Gambar 2 berikut menunjukkan letak desa implementasi tepatnya di desa Pablengan, Karanganyar, Jawa Tengah.



Gambar 2. Letak desa implementasi

Walaupun teknologi pengusir hama berbasis ultrasonik dan *IoT* telah banyak dikembangkan, sebagian besar penelitian sebelumnya masih terbatas pada skala laboratorium atau lahan

percobaan kecil sehingga efektivitasnya belum sepenuhnya menggambarkan kondisi lapangan [8]. Selain itu, perangkat yang tersedia umumnya mengandalkan sumber listrik konvensional atau panel surya portabel, sehingga belum sepenuhnya mendukung keberlanjutan energi pada lahan pertanian irigasi. Hingga kini, penelitian yang mengintegrasikan sistem ultrasonik dan IoT dengan sumber energi mikrohidro serta diuji langsung pada lingkungan persawahan masih sangat terbatas [9].

Tikus cenderung mencari makan dua kali dalam sehari, yaitu sekitar satu hingga dua jam setelah matahari terbenam dan satu hingga dua jam sebelum fajar muncul [10]. Oleh karena hal tersebut kita bisa memaksimalkan penggunaan daya gelombang ultrasonik pada speaker pengusir hama tikus dengan cara menggunakan sistem *IoT* untuk menyalakan speaker pada jam-jam tertentu untuk memaksimalkan efisiensi daya yang digunakan. Gelombang ultrasonik dengan sistem *IoT* yang bersumber energi dari mikrohidro ini diharapkan dapat memberikan solusi bagi masyarakat desa Pablengan sehingga mereka dapat menjaga hasil panen dengan maksimal dan menjaga tanah agar tidak tercemar oleh zat kimia racun tikus [11]. Selain itu digunakan energi mikrohidro sebagai sumber energi utama yang menggunakan aliran sungai, sehingga termasuk dalam rangka pengembangan energi baru terbarukan yang mengurangi bahan bakar fosil untuk *Net Zero Emission* [12].

Penelitian ini memiliki tujuan untuk mendesain dan menerapkan sistem untuk mengusir hama tikus yang mengandalkan gelombang ultrasonik yang terhubung dengan otomatisasi *IoT* dan memanfaatkan mikrohidro sebagai sumber energi utama. Sistem ini diharapkan dapat menjadi solusi ramah lingkungan yang efisien dalam mengurangi serangan hama tikus pada area persawahan serta menurunkan ketergantungan terhadap pestisida kimia dan sumber listrik konvensional, sehingga mampu meningkatkan efisiensi biaya dan menjaga keberlanjutan ekosistem pertanian.

2. METODE

Pendekatan penelitian menggunakan kombinasi metode kualitatif dan kuantitatif. Data primer diperoleh melalui wawancara dan kuesioner dengan ahli pengadaan, sedangkan data sekunder dikumpulkan dari studi literatur terkait sistem mikrohidro dan penerapan teknologi *IoT* untuk perangkat pengusir hama.

Penelitian diawali dengan kegiatan survei lapangan selama lima hari di saluran irigasi Desa Pablengan. Survei ini bertujuan memperoleh data hidrologi serta menilai kelayakan lokasi sebagai sumber energi mikrohidro. Pengukuran dilakukan pada tiga waktu berbeda, yaitu pagi, siang, dan sore, serta setiap pengukuran diulang sebanyak tiga kali untuk meningkatkan keakuratan data. Parameter yang diukur meliputi:

- Kecepatan aliran air ($\bar{v}$) menggunakan metode apung dan *current meter*
- Kedalaman air (h_0) menggunakan stadia rod
- Lebar saluran (l) menggunakan meter pita
- Head* (H) menggunakan alat ukur level beda tinggi
- Dokumentasi kondisi aliran dan lokasi instalasi

Selain itu, dilakukan pula dokumentasi kondisi saluran dan lokasi instalasi untuk mendukung penilaian teknis.

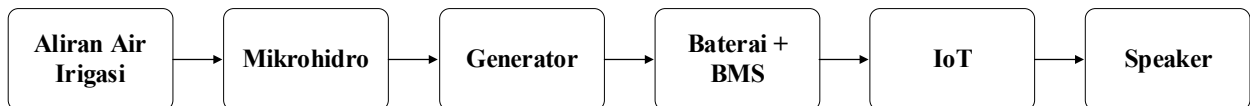
Data hasil survei digunakan untuk menghitung parameter dasar hidrolik. Kecepatan aliran diukur untuk menentukan debit, sedangkan kedalaman dan lebar saluran digunakan untuk menghitung luas penampang. Luas penampang saluran (A) ditentukan dari hasil pengukuran kedalaman dan lebar saluran, sedangkan debit aliran (Q) dihitung menggunakan rumus [13]:

$$Q = V \times A \quad (1)$$

Dengan V sebagai kecepatan aliran rata-rata. Perhitungan debit dan daya dilakukan untuk mengetahui potensi energi mikrohidro yang tersedia pada lokasi penelitian. Selanjutnya, potensi energi teoritis dihitung menggunakan persamaan. Potensi energi dihitung dengan [14],

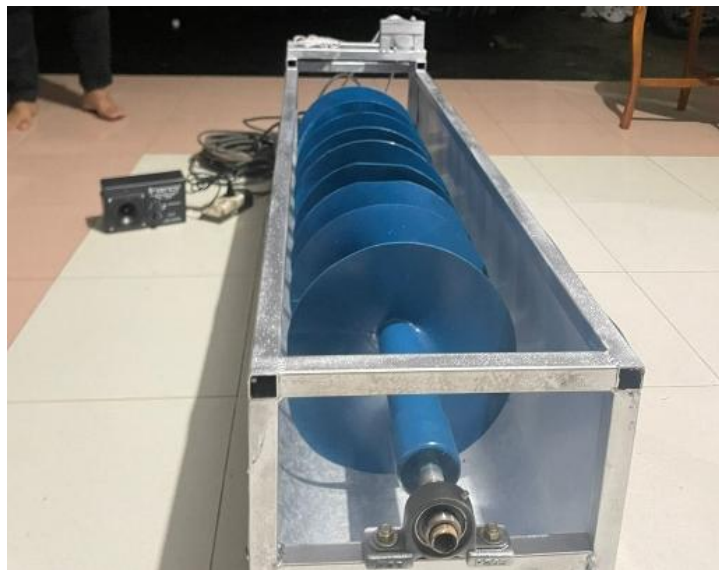
$$P = \rho g Q H \quad (2)$$

Nilai-nilai debit dan daya tersebut menjadi acuan dalam menentukan kapasitas generator dan dimensi turbin pada tahap perancangan alat. Gambar 3 berikut merupakan diagram skema pengusir hama tikus berbasis *mikrohidro*.



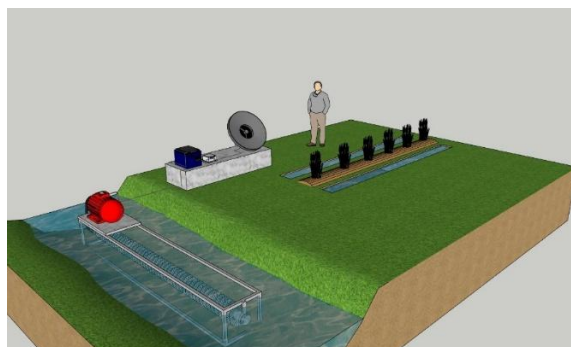
Gambar 3. Skema diagram pengusir hama tikus berbasis *mikrohidro*.

Blade adalah komponen krusial dalam sistem pengubahan energi air karena berhubungan langsung dengan air. Turbin air jenis *screw* terbagi menjadi dua kategori yaitu jenis *steel through* dan jenis *closed compact installation*. Turbin *screw* jenis *steel through* memiliki sudu yang terbuka, memungkinkan aliran air yang mengalir ke sudu hanya selebar *bucket*. Gambar 4 berikut menunjukan gambar bentuk turbin *screw tipe steel through*.



Gambar 4. Turbin *screw tipe steel trough*

Sementara itu, turbin *screw tipe closed compact installation* memiliki instalasi tertutup sepenuhnya, memungkinkan air yang mengalir hampir mencapai bagian yang menutupi instalasi turbin. Gambar 5 berikut merupakan ilustrasi gambar pengusir hama tikus berbasis mikrohidro.



Gambar 5. Ilustrasi pengusir hama tikus berbasis mikrohidro.

IoT merupakan kepanjangan dari "*Internet of Things*," yang menggambarkan kumpulan perangkat fisik yang terhubung dengan internet dan mampu saling berinteraksi untuk mengumpulkan, mengirim, serta menganalisis data. Melalui *IoT*, benda-benda dan perangkat dapat terkoneksi dan berinteraksi secara otomatis tanpa perlu campur tangan manusia. Ini memberikan sejumlah keuntungan, seperti otomatisasi tugas, pengumpulan data yang lebih efisien, penghematan energi, pemantauan keamanan, dan peningkatan keterhubungan. Penggunaan system *IoT* untuk sistem ini, berguna untuk memaksimalkan pengeluaran daya yang digunakan oleh speaker. Petani bisa dari jarak jauh mengontrol nyala dan matinya speaker. Ditambah lagi ada jam khusus dimana hewan pengerat seperti tikus aktif dalam mencari makan, dapat dimaksimalkan dengan sistem *IoT* ini.

Tahap berikutnya adalah instalasi sistem di lapangan. Turbin dipasang langsung pada saluran irigasi dengan posisi sekitar tiga meter dari intake dan menggunakan fondasi rangka berbahan beton untuk menjaga kestabilan terhadap arus. Pada bagian hulu dipasang *trash rack* guna mencegah masuknya material padat ke turbin. Pengkabelan diarahkan menuju panel kontrol dan modul *IoT* untuk mendukung pemantauan serta pengoperasian sistem. Seluruh komponen diperiksa melalui proses alignment poros dan penguncian struktur mekanis untuk menjamin presisi operasi. Generator kemudian dihubungkan ke panel kontrol dan sistem distribusi yang menyediakan daya bagi speaker ultrasonik sebagai perangkat pengusir hama. Tabel 1 dibawah menunjukan spesifikasi speaker dengan pemakaian daya sebesar 20 watt, daya maksimal 30 watt, frekuensi 10 kHz s.d 65 kHz dan radius 300 m2. Sementara itu, spesifikasi alat utama ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 1. Spesifikasi speaker

Jenis	Spesifikasi
Pemakaian Daya	20 watt
Daya Maksimal	30 watt
Frekuensi	10 kHz s.d 65 kHz
Radius	300 m2

Tabel 2. Spesifikasi alat

No	Data	Spesifikasi
1.	Generator	Ac, 3000 Watt, putaran 1500 rpm
2.	Sudu Turbin	Baja Pelat
3.	Poros Turbin	S45C
4.	Puli	Besi Cor

5.	Panel Surya	100 watt
6.	Speaker	20 kHz - 60 kHz

Survei potensi aliran sungai di desa Pablengan untuk meŕngumpulkan informasi pendukung dilaksanakan dengan mengecek lokasi pada saluran irigasi sungai. Informasi yang diperlukan diantaranya kecepatan aliran sungai, *head* sungai dan lebar sungai. Di bawah ini memperlihatkan tahap pengukuran sungai di tempat tersebut. Hasil survey diperoleh *head* 1 m, $\bar{V}$ (Kecepatan aliran) 0,65 m/s, *h*₀ (kedalaman sungai) 30 cm (= 0,3 m) dan lebar sungai 200 cm (= 2 m), maka menggunakan rumus debit[13]:

$$Q = V \times A \text{ dan } A = h_0 \times l \quad (3)$$

didapatkan nilai debit sebesar 0,39 m³/s. Dari data sungai di wilayah irigasi Ciherang, ditemukan potensi daya turbin yang dihasilkan, dengan memanfaatkan rumus [14],

$$P = \rho \, g \, Q \, H \, P \quad (4)$$

Apabila diketahui massa jenis air (ρ) sungai dianggap 1000 kg/m³ dengan percepatan gravitasi 9,81 m/s², maka didapatkan potensi daya turbin sebesar 3825,9 W $\approx$ 3,82 kW.

3. PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini mencakup tiga komponen utama, yaitu karakteristik aliran irigasi sebagai sumber energi mikrohidro, performa keluaran daya generator, serta efektivitas sistem ultrasonik berbasis *IoT* dalam mengurangi aktivitas hama tikus pada lahan persawahan. Pengukuran debit air dilakukan untuk memperoleh gambaran kapasitas suplai energi yang tersedia di lokasi penelitian, sehingga dapat memvalidasi kelayakan pemanfaatan aliran irigasi sebagai sumber tenaga. Hasil pengukuran menunjukkan debit air sebesar 0,39 m³/s dengan *head* 1 m, menghasilkan daya mikrohidro 3,82 kW. Hasil pengujian generator dipaparkan melalui data tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan selama periode pengamatan untuk menilai stabilitas pasokan listrik terhadap beban sistem ultrasonik. Analisis ini turut mencakup perubahan kondisi di lapangan yang diamati melalui perbandingan aktivitas tikus sebelum dan setelah implemen-tasi sistem, termasuk tanggapan dari petani sebagai pengguna langsung. Berikut merupakan kelebihan dari alat tersebut:

- Menghemat penggunaan energi karena energi dihasilkan melalui mikrohidro.
- Ramah lingkungan karena energi yang dihasilkan oleh mikrohidro memanfaatkan laju aliran sungai yang dapat menghasilkan gaya mekanik untuk menghasilkan listrik.
- Tidak memiliki kebisingan karena menggunakan frekuensi diatas 20 kHz yang tidak dapat didengar oleh manusia.

Speaker frekuensi tinggi yang kami gunakan untuk mengatasi hama tikus memiliki kemampuan menghasilkan gelombang ultrasonik yang tidak nyaman bagi tikus, sehingga mendorong mereka menjauh dari area tersebut. Berdasarkan jangkauan efektifnya, alat ini berpotensi mengurangi aktivitas dan dampak serangan hama tikus dalam radius hingga 300 meter persegi. Analisis keekonomian dari hasil penelitian ini yaitu tarif listrik untuk tahun 2023 bagi pelanggan rumah tangga dengan daya 450 VA (bersubsidi) adalah Rp 415 per kWh. Tabel 3 dibawah menunjukkan hasil listrik yang dihasilkan oleh mikrohidro.

Tabel 3. Listrik yang dihasilkan oleh mikrohidro adalah 3,82 kWh.

Harga	Listrik yang dihasilkan mikrohidro	Harga 1 hari
Rp 415 per kWh.	3,82 kWh	Rp 38.047,00

Dapat dilihat pada tabel 3 bahwa listrik yang dihasilkan oleh mikrohidro dapat mengurangi pengeluaran biaya listrik yang dapat membebaskan petani, yang berdampak kepada kesejahteraan petani.

Sesuai dengan data dari Survei kerangka sampel area (KSA) yang dilakukan oleh badan pusat statistik, pada tahun 2021, jumlah hasil panen padi mencapai sebesar 31,36 juta ton, yang mengalami penurunan sebesar 140,73 ribu ton dibandingkan tahun 2020. Jika di konversikan dengan harga jual Rp 6000 / kg, maka total kerugian yang di hasilkan mencapai Rp 844,38 miliar. Penelitian menunjukkan bahwa frekuensi antara 20 kHz hingga 65 kHz dapat efektif dalam mengusir hewan pengerat, menyebabkan ketidak nyamanan yang signifikan dan mengurangi keberadaannya di daerah yang terkena dampak bahwasanya speaker frekuensi tinggi dengan range 20khz yang memiliki jangkauan 300 m2 yang mampu mengusir hama tikus. di harapkan dapat mengurangi kerugian yang diakibatkan oleh hama tikus. Jika di asumsikan efektivitasnya mencapai 50% dan semua pertanian memiliki kasus yang sama dan menggunakan metode solusi yang sama, maka bisa dinilai kerugian yang dapat dikembalikan yaitu melalui perkalian antara total kerugian dengan efektivitas pengusir hama kerugian yang dapat dikurangi. Didapatkan hasil sebesar Rp 422.19 miliar.

4. SIMPULAN

Hasil penelitian ini menegaskan bahwa sistem pengusir hama tikus berbasis mikrohidro dan *Internet of Things* (IoT) mampu beroperasi secara efektif dan berkelanjutan dalam menekan aktivitas hama tikus pada lahan pertanian, dengan jangkauan perlindungan mencapai 300 m². Teknologi ultrasonik yang digunakan bekerja pada frekuensi di atas 20 kHz, sehingga tidak menimbulkan kebisingan yang mengganggu manusia, namun tetap menimbulkan efek ketidaknyamanan bagi tikus sehingga mendorong mereka menjauh dari area pertanian. Temuan ini menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan tidak hanya ramah lingkungan, tetapi juga memberikan solusi yang aman dan aman bagi para petani.

Analisis karakteristik aliran irigasi menunjukkan bahwa debit air sebesar 0,39 m³/s dengan ketinggian jatuh (*head*) 1 meter mampu menghasilkan daya sebesar 3,82 kW. Energi tersebut terbukti cukup untuk menyuplai sistem ultrasonik secara stabil, yang dibuktikan melalui hasil pengujian tegangan, arus, dan daya generator selama periode pengamatan. Integrasi komponen *IoT* juga berjalan optimal, memungkinkan sistem mendeteksi dan merespons aktivitas hama secara *real-time*. Kondisi di lapangan menunjukkan penurunan aktivitas tikus setelah sistem dipasang, serta respons positif dari petani terkait manfaat dan kemudahan penggunaan alat.

Dari sisi ekonomi, pemanfaatan energi mikrohidro berkontribusi terhadap penghematan biaya listrik dengan estimasi penghematan harian sebesar Rp 38.047,00. Selain itu, apabila inovasi ini diterapkan secara luas dan diasumsikan mampu menurunkan serangan hama hingga 50%, maka potensi pengurangan kerugian ekonomi akibat penurunan hasil panen nasional dapat mencapai Rp 422,19 miliar per tahun. Dengan demikian, teknologi ini tidak hanya menawarkan manfaat ekologis dan efisiensi energi, tetapi juga memberikan nilai tambah ekonomi yang signifikan bagi sektor pertanian.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pemanfaatan energi mikrohidro untuk mendukung sistem pengusir hama berbasis *IoT* merupakan solusi inovatif yang layak diterapkan pada daerah pertanian dengan sumber irigasi alami. Selain mendukung pe-

ningkatan produktivitas dan kesejahteraan petani, teknologi ini juga berkontribusi pada pengurangan konsumsi energi fosil, sehingga selaras dengan upaya menuju target *Net Zero Emission* di Indonesia.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Z. Wang, X. Qiao, Y. Wang, H. Yu, and C. Mu, "IoT-based system of prevention and control for crop diseases and insect pests," no. February, pp. 1–19, doi: 10.3389/fpls.2024.1323074. 2021.
- [2] B. P. S. (BPS), "Luas Panen dan Produksi Padi di Indonesia Tahun 2022," *Badan Pus. Stat.*, 2023.
- [3] Khasanah, Isnaeni Nur & Triscowati, Dwi Wahyu & Handoyo, Arif & Buana, Widyo & Ruslan, Kadir. "KOMBINASI SURVEI KERANGKA SAMPEL AREA DAN REMOTE SENSING UNTUK ESTIMASI LUAS TANAMAN PADI DI MASA PANDEMI (KSA-HYBRID) Studi Kasus di Provinsi Lampung". *Jurnal Aplikasi Statistika & Komputasi Statistik*. 12. 53-62. 10.34123/jurnalasks.v12i2.284. 2020.
- [4] Kiobia, D. O., Mwitta, C. J., Fue, K. G., Schmidt, J. M., Riley, D. G., & Rains, G. C. "A Review of Successes and Impeding Challenges of IoT-Based Insect Pest Detection Systems for Estimating Agroecosystem Health and Productivity of Cotton". *Sensors*, 23(8), 4127. <https://doi.org/10.3390/s23084127>. 2023.
- [5] W. Handini, N. Widanti, S. W. Lestari, A. R. Haqq, and A. Hafizh, "Prototype Design of Micro Hydro Power Plant with Utilization of Irrigation Water in Rice Fields Based on IoT," vol. 10, no. 9, pp. 7144–7150, doi: 10.29303/jppipa.v10i9.8553. 2024.
- [6] S. Aryza, Z. Lubis, "ENHANCE A DESIGN OF A MINI HYDROELECTRIC POWER PLANT BY UTILIZING RICE FIELD IRRIGATION RIVER," *Proceedings The 1st Annual Dharmawangsa International Conference 2023*. pp. 537–549. 2023.
- [7] Panthawong, A., Doggett, S. L., & Chareonviriyaphap, T. "Efficacy of Ultrasonic Pest Repellent Devices against the Australian Paralysis Tick, *Ixodes holocyclus* (Acari: Ixodidae)". *Insects*, 12(5), 400. <https://doi.org/10.3390/insects12050400>, 2021.
- [8] Rohmah, R.N., Oktafianto, Y., Nurokhim, N., Supriyono, H., and Supardi, A. "Pest Control System on Agricultural Land using IoT Electronic Controller". *Journal of Applied Engineering and Technological Science (JAETS)*. 5, 2 (Jun. 2024), 1011–1019. DOI:<https://doi.org/10.37385/jaets.v5i2.4592>. 2024.
- [9] S. Ahmed, S. Nawaz, K. Marwat, and G. Ben Brahim, "IoT-based intelligent pest management system for precision agriculture," *Scientific Reports*, pp. 1–15, <https://doi.org/10.1038/s41598-024-83012-3>. 2024.
- [10] P. Silakari, P. Silakari, L. Bopche, and A. Gupta, "SMART ULTRASONIC INSECTS & PETS REPELLER FOR FARMS & INVENTORIES," *2018 Int. Conf. Adv. Comput. Telecommun.*, no. December, pp. 1–3, doi: 10.1109/ICACAT.2018.8933607. 2018.
- [11] R. Nakano, A. Ito, and S. Tokumaru, "Sustainable pest control inspired by prey–predator ultrasound interactions," pp. 1–9, doi: 10.1073/pnas.2211007119/-/DCSupplemental. Published. 2022.
- [12] M. Alatas, M. T. S. Budiastuti, T. Gunawan, and P. Setyono, "The Potential of Micro-hydro Power Cascade in Irrigation Channel of Kalibawang, Indonesia", *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.*, vol. 11, no. 5, pp. 1736–1745, DOI : <https://doi.org/10.18517/ijaseit.11.5.12593>. Oct. 2021.
- [13] Trivania, Irene & Situmeang, Tom & Sihaloho, Martin & Amrita, Anak & Jasa, Lie & Sukerayasa, I & Rahardjo, Pratolo & Santiari, Dewa. "Rancang Bangun Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Dengan Studi Kasus Saluran Irigasi Di Desa Medewi Kecamatan Pekutatan Kabupaten Jembrana". *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*. 24. 79-94. 10.24843/MITE.205.v24i01.P08. 2025.
- [14] M. Alatas, M. Theresia, S. Budiastuti, T. Gunawan, and P. Setyono, "The Identification of Micro-hydro Power Plants Potential in Irrigation Areas Based on Unmanned Air Vehicle (UAV) Image Processing," *E3S Web Conf.*, 190 (2020) 00024. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/>

202019000024 pp. 1–7, 2020.

Daftar Simbol

Q = Debit aliran (m^3/s)

ρ = massa jenis air (kg/m^3)

H = Head (m)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

P = Daya (W)

A = Luas penampang saluran (m^2)