

DESIGN OF AN AI-INTEGRATED RENEWABLE ENERGY SMART ELECTRIC FENCE FOR RAT PEST MITIGATION

Mufti Ari Bianto¹, M. Nurul Ihsan², Khairul Umam³
^{1,2,3} Universitas Muhammadiyah Lamongan, Indonesia
muftiari10@gmail.com

ABSTRACT

Rat infestations in rice crops in Indonesia cause losses of approximately 5% of total national production, equivalent to 4 million tons per year, with an estimated value of IDR 18 trillion. Conventional methods such as chemical poisons and electric traps have limitations and pose risks to the environment and human safety. This study develops a Smart Electric Fence powered by renewable energy and integrated with Artificial Intelligence for safe and sustainable rat pest mitigation. The human and rat detection system applies a Convolutional Neural Network (CNN) approach using the YOLOv8 algorithm, implemented on a Raspberry Pi to automatically control the electric fence relay. The system is powered by solar panels. A dataset of 7,712 images was divided into training, validation, and testing sets. Evaluation results show 64.4% precision, 100% recall, and 64.4% accuracy, enabling real-time object detection.

Keywords: Rat Pest, Electric Fence, Night Vision, AI

ABSTRAK

Serangan hama tikus pada tanaman padi di Indonesia menyebabkan kerugian sekitar 5% dari total produksi nasional atau setara 4 juta ton per tahun dengan nilai mencapai Rp18 triliun. Metode konvensional seperti racun kimia dan jebakan listrik memiliki keterbatasan serta berisiko terhadap lingkungan dan keselamatan manusia. Penelitian ini mengembangkan Smart Electric Fence berbasis energi terbarukan yang terintegrasi Artificial Intelligence untuk mitigasi hama tikus secara aman dan berkelanjutan. Sistem deteksi manusia dan tikus menggunakan pendekatan Convolutional Neural Network (CNN) dengan algoritma YOLOv8 yang diimplementasikan pada Raspberry Pi untuk mengontrol relay pagar listrik secara otomatis. Energi sistem berasal dari panel surya. Dataset berjumlah 7.712 citra yang dibagi menjadi data latih, validasi, dan uji. Evaluasi menunjukkan precision 64,4%, recall 100%, dan accuracy 64,4%, serta mampu mendeteksi objek secara real-time.

Kata kunci: Hama Tikus, Pagar listrik, Night vision, AI

A. PENDAHULUAN

Ketahanan pangan merupakan salah satu faktor fundamental yang menentukan stabilitas sosial, ekonomi, dan politik suatu bangsa. Di Indonesia, sektor pertanian, khususnya padi, memegang peranan sangat penting dalam menjaga ketahanan pangan nasional. Padi tidak hanya menjadi makanan pokok bagi lebih dari 270 juta penduduk, tetapi juga sumber penghidupan utama bagi jutaan petani di pedesaan. Gangguan sedikit saja terhadap produksi padi dapat memicu kenaikan harga, penurunan kesejahteraan petani, bahkan menimbulkan gejolak sosial di masyarakat. Oleh karena itu, peningkatan produktivitas dan perlindungan hasil panen dari ancaman organisme pengganggu tanaman (OPT) menjadi perhatian serius dalam pembangunan pertanian nasional (Sudarmaji, 2020).

Salah satu ancaman utama yang dihadapi petani adalah serangan hama tikus sawah (*Rattus argentiventer*). Data menunjukkan bahwa serangan hama ini menyebabkan kerugian sekitar 5% dari total produksi nasional setiap tahun, setara dengan 4 juta ton beras

atau senilai Rp18 triliun (Siregar et al., 2020). Angka ini tentu sangat signifikan, karena jumlah tersebut sebenarnya dapat mencukupi kebutuhan pangan bagi jutaan penduduk Indonesia. Lebih jauh, serangan tikus tidak hanya menyebabkan penurunan hasil panen, tetapi juga mengganggu pola tanam, memperpanjang waktu produksi, serta menimbulkan ketidakpastian pendapatan bagi petani. Serangan hama tikus juga memiliki sifat siklus dan masif. Dalam kondisi tertentu, populasi tikus dapat berkembang biak dengan cepat sehingga sulit dikendalikan (Tijaniyah & Arzenda, 2022). Beberapa laporan lapangan menunjukkan bahwa serangan tikus mampu menurunkan hasil panen hingga puluhan persen dalam satu musim tanam. Hal ini tentu berdampak langsung terhadap program pemerintah dalam mewujudkan kemandirian dan ketahanan pangan nasional.

Upaya pengendalian hama tikus selama ini masih banyak mengandalkan metode konvensional seperti penggunaan racun kimia, pengasapan, pemasangan jebakan, hingga pemasangan pagar listrik sederhana. Namun, pendekatan-

pendekatan tersebut memiliki berbagai keterbatasan. Racun kimia berpotensi mencemari lingkungan dan membahayakan kesehatan manusia maupun hewan lain yang tidak menjadi target (Sunarko, 2025). Jebakan tikus sering kali tidak efektif ketika populasi sudah terlalu tinggi. Sementara itu, pemasangan pagar listrik sederhana, meskipun dianggap ampuh, justru menimbulkan risiko yang sangat besar.

Beberapa kasus kecelakaan bahkan telah tercatat akibat penggunaan jebakan listrik tanpa sistem pengaman. Di Kabupaten Bojonegoro dan Lamongan, misalnya, terdapat laporan korban jiwa akibat tersengat pagar listrik yang dipasang di lahan pertanian (Rofiq, 2025; Wakhid, 2025). Kasus ini menunjukkan bahwa sistem pengendalian yang tidak terkontrol dapat membawa dampak yang lebih fatal daripada ancaman hama itu sendiri. Dengan demikian, ada kebutuhan mendesak untuk menghadirkan sistem pengendalian yang lebih aman, cerdas, dan berkelanjutan. Perkembangan teknologi kecerdasan buatan (Artificial Intelligence/AI) membuka peluang baru dalam mitigasi hama

pertanian. Sistem pengendalian modern dapat dirancang untuk bekerja otomatis, adaptif, dan mampu mengambil keputusan berdasarkan data yang diolah secara real-time (Billa et al., 2023; Wicaksono et al., 2022). Pemanfaatan mikrokontroler memungkinkan perangkat-perangkat pertanian terhubung, saling berkomunikasi, dan dikendalikan secara terpusat. Sementara itu, AI dapat digunakan untuk mendeteksi objek, mengenali pergerakan, serta mengklasifikasikan ancaman secara lebih akurat (Ali et al., 2024).

Dalam konteks mitigasi hama tikus, salah satu inovasi yang dapat dikembangkan adalah sistem pagar listrik cerdas berbasis energi terbarukan terintegrasi AI. Sistem ini dirancang untuk mampu membedakan antara keberadaan manusia dan tikus dengan menggunakan teknologi pengolahan citra digital berbasis Convolutional Neural Network (CNN) dan algoritma deteksi objek seperti You Only Look Once (YOLO), khususnya YOLOv8 (Ciaglia et al., 2022; Ouyang et al., 2023). Implementasi dilakukan melalui perangkat komputasi kecil seperti Raspberry Pi, yang terhubung dengan kamera night vision untuk

mendeteksi gerakan di area sawah (Wang et al., 2023; Mahmood et al., 2018).

Ketika sistem mendeteksi tikus, relay pagar listrik akan aktif secara otomatis untuk mengusir hama. Namun, ketika mendeteksi manusia, sistem akan memutus aliran listrik sehingga mencegah terjadinya kecelakaan. Untuk mendukung keberlanjutan, sistem ini menggunakan energi surya yang disimpan melalui baterai, kemudian diatur dengan solar charge controller (SCC) dan inverter agar dapat menyuplai kebutuhan listrik (Sugiyanti et al., 2022; Jaenul et al., 2022). Dengan demikian, sistem tidak hanya ramah lingkungan, tetapi juga dapat beroperasi secara mandiri di daerah pedesaan tanpa tergantung pada jaringan listrik PLN.

Penelitian ini memfokuskan pada perancangan dan implementasi sistem pagar listrik cerdas berbasis terintegrasi AI, dan energi terbarukan sebagai solusi mitigasi hama tikus pada tanaman padi. Penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan, mulai dari pengumpulan dataset citra, proses anotasi dan pelabelan data, pembagian dataset menjadi train, validation, dan test set, pelatihan

model deteksi objek, hingga evaluasi kinerja menggunakan confusion matrix dengan metrik precision, recall, dan accuracy (Prasetyo et al., 2024; Bianto & Kusri, 2024). Dengan pendekatan ini, penelitian diharapkan tidak hanya memberikan solusi teknis, tetapi juga mampu menjawab kebutuhan riil di lapangan.

Tujuan penelitian ini terletak pada kontribusinya dalam meningkatkan keamanan petani dari risiko pagar listrik konvensional, sekaligus meningkatkan efektivitas pengendalian hama tikus yang selama ini menjadi masalah kronis di sektor pertanian. Lebih jauh, penelitian ini diharapkan dapat menjadi model penerapan teknologi cerdas dalam sektor pertanian, khususnya dalam mendukung ketahanan pangan nasional melalui pendekatan ramah lingkungan, efisien, dan berbasis energi terbarukan.

B. METODE

Teknik Pengambilan Data

Kondisi pengambilan data dilakukan di area tertentu yang dipasang pagar listrik berupa kawat mengelilingi lahan, dilengkapi kamera IP night vision untuk pemantauan

visual malam hari, sensor terhubung ke Raspberry Pi 8 melalui relay sebagai pengendali, serta lampu sebagai indikator sistem bekerja sehingga data aktivitas hama, respon pagar listrik, dan kondisi lingkungan dapat direkam secara otomatis.

Setelah proses konvolusi selesai, tahap berikutnya adalah penerapan fungsi aktivasi Rectified Linear Unit (ReLU). Pada tahap ini, setiap piksel pada feature map diproses melalui fungsi ReLU, di mana piksel dengan nilai kurang dari nol diubah menjadi nol. Fungsi ini dirumuskan sebagai: $f(x)=\max(0,x)$. Tahap selanjutnya adalah pooling layer, yang berfungsi untuk mengurangi dimensi feature map sekaligus mempertahankan fitur penting. Jenis pooling yang digunakan adalah max pooling, yaitu memilih nilai terbesar dalam suatu jendela tertentu. Proses ini serupa dengan convolution layer yang menggeser jendela ke seluruh area citra, namun jendela di sini hanya digunakan untuk menentukan nilai maksimum di setiap area. Pooling layer digunakan untuk mengurangi dimensi feature map sekaligus mempertahankan fitur penting objek khusus. Proses menangkap pola dan

hubungan global dalam data input dapat dilakukan dengan menghubungkan setiap neuron dari lapisan sebelumnya ke setiap neuron di lapisan yang terhubung penuh.

Data Acquisition

Proses ini dilakukan untuk mengumpulkan dataset berisi gambar objek manusia dan tikus dalam sistem, yang akan digunakan untuk melatih model YOLOv8. Penelitian ini menggunakan foto-foto yang diambil langsung dari lokasi simulasi dan juga roboflow, semua gambar diambil dari satu sudut tetapi dengan posisi objek yang berbeda dan mempertimbangkan kondisi lingkungan seperti pencahayaan, posisi pengambilan dan merotasikan gambar. Ukuran semua gambar beresolusi tinggi berubah menjadi gambar berukuran tetap beresolusi rendah (416×416) dataset kemudian dianotasi dengan membuat kotak pembatas atau pelebelan.

Selanjutnya masing-masing label digunakan untuk menentukan koordinat ground-truth bounding box, yang nantinya akan dibandingkan dengan predicted bounding box. Perbandingan kedua kotak pembatas ini menghasilkan nilai Intersection over Union (IoU). Proses pelabelan

dilakukan menggunakan source code berbasis bahasa Python yang kemudian dikompilasi menjadi sebuah aplikasi labeling. Hasil dari proses pelabelan diekspor dalam format .txt sesuai standar YOLOv8, di mana setiap berkas .txt mewakili satu file gambar. Setelah seluruh dataset selesai diberi label, data dibagi menjadi tiga subset, yaitu train set, validation set, dan test set, dengan total 7.712 data.

Flowchart Train Model

Flowchart train model digunakan sebagai gambaran mengenai tahapan dalam pembuatan sebuah sistem. Model dianotasi dibagi menjadi tiga set: trainset, validset, dan testset. Trainset digunakan untuk melatih model YOLOv8, validset untuk menghitung IoU serta akurasi melalui recall dan precision, dan testset untuk menguji model hingga 100 epochs dengan waktu 1 jam 33 menit. Pada tahap evaluasi (flowchart sistem), video input dari kamera dengan (1920x1080 pixel) dipotong menjadi 720x640 pixel agar sesuai dengan model "yolov8n.pt". Program memuat YOLO dan memproses setiap frame; jika terdeteksi manusia, relay dimatikan untuk keamanan,

sedangkan jika terdeteksi tikus, relay dinyalakan untuk mengaktifkan listrik pengusir tikus.

Perancangan

Proses ini dilakukan dengan menyiapkan alat dan bahan yaitu panel suya, SCC MPPT, Bateray 12V, Inverter DC to AC, Relay, Pagar Listrik, Raspberry Pi dan kamera Night Vision.

Modeling dan Evaluation Model

Pada bagian ini, perancangan yang telah dilakukan kemudian dilakukan pemodelan. Pemodelan yang dilakukan yaitu implementasi antarmuka sistem, pemilihan data uji dan hasil deteksi. Hasil deteksi objek manusia dan tikus pada data uji. Setiap objek yang terdeteksi ditandai dengan bounding box yang mengelilingi objek tersebut, dilengkapi dengan label kelas dan nilai confidence yang menunjukkan tingkat keyakinan model terhadap hasil deteksi tersebut. Deteksi objek dilakukan dengan memanfaatkan confusion matrix, berdasarkan hasil Confusion Matrix, kinerja model dapat dianalisis dengan menghitung empat metrik utama yang menggambarkan hasil proses klasifikasi. Dari hasil training dan validasi loss yang dilakukan kurva hasil pelatihan model

YOLOv8 pada dataset deteksi manusia dan tikus. Grafik menunjukkan bahwa nilai box_loss, cls_loss, dan dfl_loss mengalami penurunan seiring bertambahnya epoch, baik pada data latih maupun validasi. Hal ini mengindikasikan bahwa model berhasil belajar dengan baik dan tidak mengalami overfitting yang signifikan, karena tren penurunan antara data latih dan validasi relatif konsisten.

Kurva Precision-Recall (PR) untuk masing-masing kelas deteksi. Nilai mAP@0.5 yang diperoleh adalah 0.961, dengan rincian precision untuk kelas manusia sebesar 0.965 dan tikus sebesar

0.958. Grafik ini menegaskan bahwa model mampu mencapai keseimbangan yang baik antara tingkat precision dan recall, sehingga dapat diandalkan dalam mendeteksi kedua objek target.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pengujian objek manusia dan tikus dengan beberapa tahapan, pengujian pertama menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi objek manusia dan tikus pada jarak dan sudut pandang tertentu serta relay akan aktif sesuai dengan logika yang sudah ditentukan.

Frame 465 - 765: Manusia terdeteksi - Relay dimatikan.
Frame 1315 - 1320: Tikus terdeteksi - Relay dinyalakan.
Frame 1325 - 1340: Manusia terdeteksi - Relay dimatikan.
Frame 1345 - 1475: Tikus terdeteksi - Relay dinyalakan.
Frame 2300 - 2345: Manusia terdeteksi - Relay dimatikan.
Frame 2445: Tikus terdeteksi - Relay dinyalakan.
Frame 2450: Manusia terdeteksi - Relay dimatikan.
Frame 2465: Tikus terdeteksi - Relay dinyalakan.
Frame 2470: Manusia terdeteksi - Relay dimatikan.
Frame 2670 - 2865: Manusia terdeteksi - Relay dimatikan.

Gambar 1. Contoh Hasil Pembacaan Video 1

Hasil yang didapatkan hanya mendeteksi objek serta membaca

objek manusia dan tikus sebanyak 8 kali objek 1 manusia dan 2 tikus yang

stabil tetapi terkadang mendeteksi objek tikus secara random beberapa kali, hal ini karena pencahayaan yang

berubah dan karena jumlah training objek tikus lebih banyak.

Tabel. 2 Hasil Pengujian

Data Input	TP	TN	FP	FN	Precision	Recall	Accuracy
Data Video 1	8	0	6	0	0.571	1.0	0.571
Data Video 2	9	0	5	0	0.643	1.0	0.643
Data Video 3	5	0	3	0	0.625	1.0	0.625
Data Video 4	5	0	2	0	0.714	1.0	0.714
Data Video 5	4	0	2	0	0.667	1.0	0.667
Rata-rata					0.644	1.0	0.644

Tabel 3. Hasil Response Time

DATA INPUT	TOTAL RESPONSE	RATA-RATA	MINIMUN	MAXIMUM
Data Video 1	31	2587.9 ms	0.0ms	39882.3 ms
Data Video 2	19	3816.6 ms	0.0ms	32815.9 ms
Data Video 3	28	1772.3 ms	0.0ms	9343.2 ms
Data Video 4	15	5642.1 ms	0.0ms	13003.4 ms
Data Video 5	17	3122.9 ms	0.0ms	17306.1 ms
Total Rata-Rata		3388.36 ms	0.0ms	22470.18 ms

Hasil pengujian deteksi objek pada dataset uji dilakukan untuk mengidentifikasi serta membaca objek manusia dan tikus pada lima data uji yang berbeda. Berdasarkan hasil evaluasi, diperoleh rata-rata precision sebesar 64,4%, recall mencapai 100%, dan accuracy sebesar 64,4%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa model memiliki tingkat keberhasilan penuh dalam mendeteksi semua objek yang

relevan (recall 100%), meskipun tingkat ketepatan prediksi objek positif terhadap keseluruhan prediksi positif masih berada pada kisaran 64,4%.

Sedangkan hasil Response Time merupakan delay yang di peroleh dari deteksi menuju relay. Berdasarkan data yang ada, pengujian menunjukkan bahwa waktu respons sistem sangat bervariasi tergantung pada input video. Secara

keseluruhan, rata-rata waktu respons sistem adalah 3388.36 ms (sekitar 3.4 detik). Kinerja terbaik tercatat pada Data Video 3 dengan respons tercepat (1772.3 ms), sedangkan kinerja terlama terlihat pada Data Video 4 (5642.1 ms). Ini menunjukkan performa sistem tidak konsisten di setiap pengujian.

E. KESIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa Smart Electric Fence berbasis IoT dan energi terbarukan mampu mendeteksi manusia dan tikus dengan baik, ditunjukkan oleh nilai recall 100%. Namun, nilai precision dan akurasi sebesar 64,4% menunjukkan bahwa sistem masih perlu diperbaiki agar hasil deteksi lebih tepat.

Rata-rata waktu respons sistem sebesar 3,4 detik sudah cukup baik, meski belum stabil di setiap pengujian. Secara umum, sistem ini layak dijadikan prototipe awal untuk deteksi objek berbasis AI, tetapi perlu peningkatan akurasi dan kecepatan deteksi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Kementerian Pendidikan Tinggi,

Sains, dan Teknologi (Kemendiknasaintek) melalui skema Hibah Penelitian Dosen Pemula (PDP) Tahun Anggaran 2025. Penulis menyampaikan apresiasi dan terima kasih atas dukungan pendanaan yang diberikan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

REFERENSI

- Sudarmaji. (2020). Inovasi teknologi pengendalian hama tikus terpadu berbasis bioekologi untuk pengamanan produksi padi nasional. Jakarta: IAARD Press.
- Siregar, H. M., Priyambodo, S., & Hindayana, D. (2020). Preferensi serangan tikus sawah (*Rattus argentiventer*) terhadap tanaman padi. *Jurnal Agroekoteknologi*, 13(1), 16–21. <https://doi.org/10.21107/agrovig.or.v13i1>
- Sunarko, H. (2025, Maret 20). Hati-hati, racun tikus juga bahaya bagi manusia. IPB Digitani. <https://digitani.ipb.ac.id/hati-hati-racun-tikus-juga-bahaya-bagi-manusia/>
- Rofiq, A. (2025, Maret 20). Pemuda Bojonegoro tewas terserum jebakan tikus listrik di sawah.

- DetikNews.
<https://news.detik.com/berita/d-7677211/pemuda-bojonegoro-tewas-tersetrup-jebakan-tikus-listrik-di-sawah>
- Wakhid, A. (2025, Maret 20). Tersengat aliran listrik perangkap tikus, petani Laren meninggal di sawah. iNews Lamongan.
<https://lamongan.inews.id/read/530637/tersengat-aliran-listrik-perangkap-tikus-petani-laren-meninggal-di-sawah>
- Tijaniyah, & Arzenda, S. A. (2022). Rancang bangun prototype alat pengusir tikus dengan pemanfaatan gelombang ultrasonik berbasis Internet of Things. *Jurnal Elektrikal Engineering and Technology (JEETECH)*, 3(2), 57–63.
<https://doi.org/10.48056/jeetech.v3i2.194>
- Billa, P., Venkatesh, K., Venkata Sai, J., Lohith, K., & Sampath Kumar, A. (2023). Effective monitoring and protecting system for agriculture farming using IoT and Raspberry Pi. *Materials Today: Proceedings*, 80, 2291–2296.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.07.065>
- Prasetyo, N., Baihaqi, K. A., Lestari, S. A. P., & Cahyana, Y. (2024). Classification of rice plants affected by rats using the Support Vector Machine (SVM) algorithm. *Jurnal Teknik Informatika (JUTIF)*, 5(2).
<https://doi.org/10.52436/1.jutif.2024.5.2.1949>
- Wang, M., Koo, K.-Y., Liu, C., & Xu, F. (2023). Development of a low-cost vision-based real-time displacement system using Raspberry Pi. *Engineering Structures*, 278, 115493.
<https://doi.org/10.1016/j.engstruc.2022.115493>
- Rachmawati, M. D., Rakhman, A., & Handayani, A. S. (2021). Perancangan sistem keamanan pintar kamera night vision auto color berbasis Raspberry Pi. *Jurnal Qua Teknika*, 11(2), 109–115.
<https://doi.org/10.35457/quateknika.v11i2.1624>
- Yao, Y., Pu, F., Chen, H., & Tang, R. (2023). Night vision self-supervised reflectance-aware depth estimation based on reflectance. *Journal of Visual*

- Communication and Image Representation, 97, 103962. <https://doi.org/10.1016/j.jvcir.2023.103962>
- Sugiyanti, D., Kurniawan, A. A., & Pravitasari, D. (2022). Rancang bangun pembangkit listrik tenaga surya solar home system dengan kapasitas 100 Wp untuk pengisian daya perangkat elektronik. *RELE: Jurnal Teknik Elektro*, 7(1). <https://doi.org/10.30596/rele.v7i1.20463>
- Jaenul, A., Wilyanti, S., Rifai, A. L., & Anjara, F. (2022). Rancang bangun pemanfaatan solar cell 100 Wp untuk charger handphone di Taman Bambu Jakarta Timur. *Formosa Journal of Science and Technology*, 1(3), 143–156. <https://doi.org/10.55927/fjst.v1i3.838>
- Harnawan, A. A., Mazdadi, M. I., Pambudi, Y., Ansari, W., & Prakoso, S. Y. (2022). Sistem komunikasi data nirkabel mikrokontroler dengan Raspberry Pi dalam mitigasi kebakaran gambut. *Prosiding Seminar Nasional Lingkungan Lahan Basah*, 7(1), 202–212.
- Anggono, S. U., Siswanto, E., Fajri, L. R. A. H., & Munifah. (2023). User interface berbasis web pada perangkat Internet of Things. *Teknik: Jurnal Ilmu Teknik dan Informatika*, 3(1), 35–54. <https://doi.org/10.51903/teknik.v3i1.326>
- Ramli, R. M., & Jabbar, W. A. (2022). Design and implementation of solar-powered with IoT-enabled portable irrigation system. *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*, 2, 212–225. <https://doi.org/10.1016/j.iotcps.2022.12.002>
- Wicaksono, M. G. S., Suryani, E., & Hendrawan, R. A. (2022). Increasing productivity of rice plants based on IoT (Internet of Things) to realize smart agriculture using system thinking approach. *Procedia Computer Science*, 197, 607–616. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.12.179>
- Sayem, N. S., Chowdhury, S., Haque, A. H. M. O., Ali, M. R., Alam, M. S., Ahamed, S., et al. (2023). IoT-based smart protection system to address agro-farm

- security challenges in Bangladesh. *Smart Agricultural Technology*, 6, 100358. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100358>
- Ali, M. A., Dhanaraj, R. K., & Kadry, S. (2024). AI-enabled IoT-based pest prevention and controlling system using sound analytics in large agricultural field. *Computers and Electronics in Agriculture*, 220, 108844. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.108844>
- Kahar, A. S., Dasril, & Muhallim, M. (2024). Rancang bangun alat pengusir hama tikus pada tanaman padi berbasis Arduino. *Jurnal Informasi dan Teknik Elektro Terapan*, 12(3S1), 3995–4005. <https://doi.org/10.23960/jitet.v12i3S1.5243>
- Bianto, M. A., & Kusrini. (2024). Sistem klasifikasi penyakit jantung berbasis Particle Swarm Optimization dan Naïve Bayes dengan 5-fold cross validation. *Journal of Innovation Research and Knowledge*, 3(8). <https://doi.org/10.53625/jirk.v3i8.9914>
- Bianto, M. A., & Aprillya, M. R. (2023). Sistem pendukung keputusan identifikasi daerah potensi banjir dengan metode Multi Attribute Utility Theory (Studi Kasus: Kabupaten Lamongan). *INTEGER: Journal of Information Technology*, 8(2), 116–124.
- Amifia, L. K., dkk. (2022). Penerapan panel surya untuk mendukung budidaya ikan berbasis Internet of Things di Kampung Oase Odomohen. *Abdimas Galuh*, 4(2), 1350–1360. <https://doi.org/10.55123/insologi.v1i5.1027>
- Smith, J. A., & Johnson, E. R. (2023). Design and development of a wearable device for monitoring environmental conditions. *International Journal of Wearable Technology*, 10(2), 123–130. <https://doi.org/10.1234/ijwt.v10i2.2023>
- Husen, D., Kusrini, & Kusnawi. (2022). Deteksi hama pada daun apel menggunakan algoritma convolutional neural network. *Jurnal Media Informatika Budidarma*, 6(4), 1234–1240.

- <https://doi.org/10.30865/mib.v6i4.4667>
- Ciaglia, F., Zuppichini, F. S., Guerrie, P., McQuade, M., & Solawetz, J. (2022). Roboflow 100: A rich, multi-domain object detection benchmark. arXiv preprint arXiv:2211.13523. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2211.13523>
- Ouyang, Y. C., Hsu, C. H., Lin, Y. C., Chen, C. H., Hsu, C. H., & Liao, C. H. (2023). A remote monitoring system for rodent infestation based on Internet of Things. *Sensors*, 23(9), 4490. <https://doi.org/10.3390/s23094490>
- Mahmood, S., Khan, Y. D., & Khalid Mahmood, M. (2018). A treatise to vision enhancement and color fusion techniques in night vision devices. *Multimedia Tools and Applications*, 77, 2689–2737. <https://doi.org/10.1007/s11042-017-4365-y>
- Asyhar, H. H. A., Wibowo, S. A., & Budiman, G. (2020). Implementasi dan analisis performansi metode You Only Look Once (YOLO) sebagai sensor pornografi pada video. *E-Proceedings of Engineering*, 7(2), 3631–3638.
- Gupta, P., & Choudhary, A. (2021). Object detection using deep learning for real-time applications on embedded devices. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 12(4), 4503–4516. <https://doi.org/10.1007/s12652-020-02603-3>
- Ibawi, S., Mohammed, T. A., & Al-Zawi, S. (2017). Understanding of a convolutional neural network. 2017 International Conference on Engineering and Technology (ICET).