



## Integrasi Internet of Things (IoT) dan Machine Learning (ML) untuk Efisiensi, Keberlanjutan, dan Keamanan

Zakiyah Konasara <sup>1</sup>, Syaiful Bachri M <sup>2\*</sup>, Nurhikmah Fajar <sup>1</sup>, Nurul Hidayatullah <sup>3</sup>, Sahriani <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Komputer, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Kolaka Utara, Indonesia

<sup>2</sup> Program studi Teknologi Informasi, Fakultas Sains Teknologi dan Kesehatan, Institut Sains Teknologi dan Kesehatan 'Aisyiyah Kendari, Indonesia

<sup>3</sup> Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Halu Oleo, Indonesia

\*Email (corresponding author): [syaifulbachrimustamin@gmail.com](mailto:syaifulbachrimustamin@gmail.com)

**Abstrak.** Integrasi Internet of Things (IoT) dan Machine Learning (ML) telah menjadi fokus utama penelitian untuk meningkatkan efisiensi, keamanan, dan keberlanjutan di berbagai sektor. Kajian ini menganalisis penerapan IoT dan ML dalam manajemen perangkat keras, sistem tanggap darurat, keamanan siber, dan manajemen pertanian, dengan penekanan pada pendekatan berbasis data dan efisiensi komputasi. Hasil studi menunjukkan bahwa IoT dan ML dapat diterapkan secara efektif di berbagai konteks. Dalam manajemen perangkat keras, sensor IoT memantau kondisi real-time, sementara model ML memprediksi degradasi perangkat untuk mendukung efisiensi energi dan prinsip ekonomi sirkular. Dalam keamanan dan respons darurat, IoT dan ML meningkatkan kecepatan respons dan melindungi perangkat dari ancaman siber, dengan penerapan differential privacy untuk menjaga privasi data. Di sektor pertanian, kombinasi IoT dan ML membantu mengoptimalkan kondisi lingkungan, seperti dalam manajemen koloni lebah untuk meningkatkan produktivitas. Penelitian juga menekankan pentingnya efisiensi komputasi, di mana teknik seperti reduksi dimensi PCA dan pemilihan fitur (XGBoost) berhasil mengurangi kompleksitas tanpa mengorbankan akurasi. Bahkan, data frekuensi rendah dapat menghasilkan model ML yang andal. IoT dan ML adalah teknologi yang saling melengkapi, memberikan solusi inovatif untuk berbagai tantangan, dengan fokus pada efisiensi, keberlanjutan, dan keamanan. Penelitian ini tidak hanya menawarkan solusi saat ini tetapi juga membuka peluang bagi inovasi berkelanjutan di masa depan.

**Kata kunci:** IoT, ML, efisiensi komputasi, keberlanjutan dan keamanan, differential privacy

**Abstract.** Integrating the Internet of Things (IoT) and Machine Learning (ML) has become a major focus of research to improve efficiency, security, and sustainability in various sectors. This paper analyzes the application of IoT and ML in hardware management, emergency response systems, cybersecurity, and agricultural management, emphasizing data-driven approaches and computational efficiency. The study results show that IoT and ML can be effectively applied in various contexts. In hardware management, IoT sensors monitor real-time conditions, while ML models predict device degradation to support energy efficiency and circular economy principles. In security and emergency response, IoT and ML improve response speed and protect devices from cyber threats, with the application of differential privacy to maintain data privacy. In the agricultural sector, the combination of IoT and ML helps optimize environmental conditions, such as in bee colony management to increase productivity. Research also emphasizes the importance of computational efficiency, where techniques such as dimensionality reduction PCA and feature selection (XGBoost) successfully reduce complexity without sacrificing accuracy. Even low-frequency data can produce reliable ML models. IoT and ML are complementary technologies,

---

*providing innovative solutions to a wide range of challenges, with a focus on efficiency, sustainability, and security. This research not only offers solutions today but also opens up opportunities for continuous innovation in the future.*

**Keywords:** IoT, ML, computational efficiency, sustainability and security, differential privacy

## 1. Pendahuluan

Penelitian-penelitian yang dibahas dalam sumber-sumber ini didorong oleh berbagai motivasi yang saling terkait, yang berakar pada kebutuhan praktis, keberlanjutan, dan kemajuan teknologi. Salah satu pendorong utama adalah kebutuhan mendesak untuk mengadopsi model *Circular Economy* (CE) secara lebih luas (Negri et al., 2021). Meskipun konsep CE telah diakui manfaatnya, implementasinya dalam praktik industri masih sangat terbatas (Ting et al., 2024). Penelitian ini berupaya mengatasi kesenjangan ini dengan berfokus pada aplikasi CE dalam konteks peralatan rumah tangga seperti oven *microwave*, area yang relatif belum dieksplorasi (Bal & Badurdeen, 2022).

Transisi global menuju model CE, yang ditekankan oleh Parlemen Eropa, memicu perlunya pendekatan yang berfokus pada pelestarian sumber daya dan penggunaan kembali, dengan potensi manfaat ekonomi yang signifikan (Mulet et al., 2022). Salah satu negara yang menetapkan target ambisius untuk mencapai sirkularitas penuh pada tahun 2050 menyoroti relevansi penelitian ini dalam konteks yang lebih luas yaitu salah satunya Belanda. Selain itu, penelitian ini juga didorong oleh keinginan untuk mengoptimalkan siklus hidup produk dan mengurangi limbah (Dagevos & de Lauwere, 2021). Hal ini mencakup pengembangan model klasifikasi komponen untuk memaksimalkan umur pakai oven *microwave* setelah penggunaan awal, serta menilai nilai pasar atau sisa nilai perangkat setelah digunakan. Pengumpulan data melalui sensor IoT memainkan peran penting dalam upaya ini, memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih baik terkait strategi penetapan harga dan pemanfaatan sumber daya. Keterbatasan pengujian tradisional juga menjadi faktor pendorong penting (Yoshihiro & Hosio, 2023). Uji degradasi baterai di laboratorium seringkali memerlukan waktu yang lama, biaya yang tinggi, dan mungkin tidak mencerminkan pola penggunaan yang sebenarnya. Untuk itu, penelitian ini mengusulkan penggunaan pendekatan *Machine Learning* (ML) untuk memprediksi profil degradasi baterai berdasarkan cara perangkat IoT digunakan (Bokstaller & Schneider, 2025; Zhao et al., 2024).

Di berbagai sektor, kebutuhan akan Emergency Response System (ERS) yang lebih efisien dan otomatis menjadi pendorong utama. Terbatasnya sumber daya dan urgensi dalam menangani keadaan darurat memerlukan pemanfaatan teknologi IoT dan ML untuk analisis prioritas otomatis dalam ERS (Yaseen et al., 2022). Selain itu, penting untuk memastikan keamanan dan privasi data dalam implementasi IoT. Penelitian ini berfokus pada pengembangan model *Federated Learning* (FL) dengan kompleksitas komputasi rendah untuk mendeteksi serangan botnet pada perangkat IoT, sambil menjaga privasi data pengguna (Popoola et al., 2022). Dalam sektor pertanian, khususnya dalam pengelolaan peternakan lebah, penelitian ini bertujuan untuk mengintegrasikan teknologi IoT dan ML guna memantau kondisi koloni lebah dengan presisi, termasuk pengendalian suhu sarang menggunakan teknologi pulse-width modulation, untuk meningkatkan kesehatan lebah, produktivitas madu, dan mendukung praktik pertanian berkelanjutan (Danieli et al., 2024).

---

## 2. Metode

Penelitian-penelitian yang dibahas dalam sumber-sumber ini didorong oleh berbagai kebutuhan yang saling terkait, termasuk peningkatan efisiensi, keberlanjutan, dan kemajuan teknologi. Salah satu faktor utama yang mendorong adalah urgensi untuk memperluas penerapan model ekonomi sirkular (CE). Meskipun manfaat konsep CE sudah diakui, penerapannya dalam industri masih terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk menjembatani kesenjangan tersebut dengan memfokuskan pada penerapan CE dalam sektor peralatan rumah tangga seperti oven *microwave*, yang masih jarang dieksplorasi. Peralihan global menuju model CE, yang didorong oleh Parlemen Eropa, mempertegas pentingnya pendekatan yang mengutamakan pelestarian sumber daya dan penggunaan kembali produk, yang dapat memberikan dampak ekonomi yang signifikan. Misalnya, Belanda telah menetapkan tujuan ambisius untuk mencapai sirkularitas penuh pada tahun 2050, yang menambah relevansi penelitian ini dalam skala global.

Selain itu, Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan siklus hidup produk dan mengurangi limbah dengan mengembangkan model klasifikasi komponen yang dapat memperpanjang umur pakai oven *microwave* setelah penggunaan awal, serta menilai nilai pasar atau sisa nilai perangkat setelah digunakan (Andersson et al., 2012). Pengumpulan data melalui sensor IoT berperan penting dalam memberikan informasi yang lebih akurat untuk pengambilan keputusan terkait strategi harga dan pemanfaatan sumber daya. Selain itu, penelitian ini mengatasi keterbatasan pengujian tradisional yang memakan waktu dan biaya tinggi, serta mungkin tidak mencerminkan penggunaan dunia nyata. Oleh karena itu, pendekatan berbasis *Machine Learning* (ML) diusulkan untuk memprediksi degradasi baterai berdasarkan pola penggunaan perangkat IoT. Di sektor lain, untuk meningkatkan efisiensi dan otomatisasi, penelitian ini juga fokus pada sistem tanggap darurat (ERS) yang memanfaatkan IoT dan ML untuk analisis prioritas otomatis, sambil memastikan keamanan dan privasi data. Dalam hal ini, model *Federated Learning* (FL) dengan komputasi rendah dikembangkan untuk mendeteksi serangan botnet pada perangkat IoT tanpa mengorbankan privasi pengguna. Terakhir dalam pertanian khususnya dalam pengelolaan peternakan lebah penelitian ini mengintegrasikan teknologi IoT dan ML untuk memantau dan mengelola kondisi koloni lebah secara lebih presisi, seperti mengendalikan suhu sarang dengan teknologi *pulse-width modulation* untuk meningkatkan kesehatan lebah, produktivitas madu, serta mendukung keberlanjutan praktik pertanian (Kouchner et al., 2019).

## 3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian tentang oven *microwave* berbasis IoT untuk ekonomi sirkular menghasilkan model klasifikasi komponen oven *microwave* yang bertujuan untuk memaksimalkan masa pakai perangkat setelah penggunaan awal. Penelitian ini memanfaatkan sensor IoT untuk mengumpulkan data *real-time* mengenai kondisi oven, termasuk tegangan, arus, jumlah penutupan pintu, dan rotasi bilah. Data ini kemudian digunakan dalam model *Machine Learning* untuk memprediksi nilai sisa oven, yang berguna untuk strategi penetapan harga dan daur ulang. Oven dikategorikan dalam siklus ekonomi sirkular (CE) seperti penggunaan kembali (*reuse*), perbaikan (*repair*), remanufaktur, dan daur ulang (*cascade*) berdasarkan kondisi komponennya. Survei melibatkan 18 ahli dan 2 produsen untuk menetapkan kategori ini. Model yang dihasilkan membantu dalam pengambilan keputusan terkait pemeliharaan dan pemanfaatan oven secara lebih efisien.

---

Penelitian mengenai sistem tanggap darurat berbasis IoT dan ML mengembangkan sistem yang memprioritaskan keadaan darurat secara otomatis menggunakan data sensor *real-time* dari perangkat medis, rumah, dan kendaraan. Sistem ini menggunakan model *XGBoost* untuk memprediksi dan mengklasifikasikan tingkat keparahan keadaan darurat. Integrasi *Google Maps API* memungkinkan visualisasi lokasi dan navigasi bagi responden darurat. Selain itu, dikembangkan juga antarmuka web untuk memantau data, mengirim notifikasi darurat, dan mengelola sumber daya responden. Sistem ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan kecepatan respons dalam situasi darurat dengan memanfaatkan teknologi IoT dan *machine learning*. Penelitian tentang prediksi degradasi baterai perangkat IoT menggunakan ML berfokus pada pengembangan model *Machine Learning* berbasis pemanfaatan (BHI) untuk memprediksi *State of Health* (SoH) baterai. Model ini memanfaatkan data *low-frequency* dari perangkat IoT dan mode penggunaannya untuk memetakan profil degradasi baterai. Profil degradasi menunjukkan bagaimana berbagai mode penggunaan seperti *standby* dan transmisi, mempengaruhi kesehatan baterai. Penelitian ini juga mengevaluasi model dengan data *proprietary* dan membandingkannya dengan metode *Linear Regression* (LinReg) dan *Gaussian Process Regression* (GPR), menunjukkan bahwa model ML lebih akurat dalam memprediksi degradasi. Hasil penelitian ini berguna untuk mengoptimalkan mode penggunaan perangkat IoT dan memprediksi sisa masa pakai baterai.

Penelitian tentang Deteksi Serangan Botnet IoT Menggunakan *Federated Learning* (FL) memperkenalkan sistem deteksi serangan botnet IoT yang berbasis *Federated Learning* (FL) dengan kompleksitas komputasi yang rendah. Penelitian ini memanfaatkan model *XGBoost* untuk seleksi fitur dan *Principal Component Analysis* (PCA) untuk reduksi dimensi, yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi komputasi model. *Differential privacy* diintegrasikan ke dalam pelatihan model FL untuk menjaga privasi data. Model yang dihasilkan mencapai akurasi yang tinggi (99.93%) dengan kompleksitas komputasi yang rendah (8,612 FLOPs), menunjukkan keunggulan dibandingkan model lain dalam mendeteksi serangan botnet pada perangkat IoT yang memiliki sumber daya terbatas.

Penelitian tentang Sistem untuk Efisiensi Energi dan Manajemen Koloni Lebah berfokus pada penggunaan teknologi *pulse-width modulation* untuk mengontrol suhu sarang lebah, yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi energi dan kenyamanan lebah. Data suhu dianalisis menggunakan *Machine Learning* untuk mengoptimalkan manajemen koloni lebah. Implementasi teknologi ini diharapkan dapat meningkatkan kesehatan lebah dan produktivitas madu, serta mendukung praktik pertanian berkelanjutan. Secara keseluruhan, penelitian-penelitian ini menunjukkan pemanfaatan teknologi IoT, ML, dan teknik komputasi canggih untuk mengatasi berbagai masalah dalam berbagai bidang. Penelitian ini juga menyoroti pentingnya keberlanjutan, privasi data, efisiensi, dan pengambilan keputusan berbasis data. Rangkuman hasil penelitian dari masing-masing sumber yang disajikan dalam tabel 1, dengan sumber diganti menjadi judul penelitian, serta penjelasan umum dari hasil penelitian tersebut.

**Tabel 1.** Rangkuman hasil penelitian dari beberapa penelitian

Judul Penelitian	Hasil Utama
Oven <i>microwave</i> berbasis IoT untuk Ekonomi Sirkular (Milios et al., 2019)	Pengembangan model klasifikasi komponen oven <i>microwave</i> untuk memaksimalkan masa pakai setelah penggunaan awal. Pemanfaatan sensor IoT untuk mengumpulkan data real-time tentang kondisi oven, seperti tegangan, arus, penutupan pintu, dan rotasi bilah. Penggunaan <i>Machine Learning</i> (ML) untuk memprediksi nilai sisa oven berdasarkan data sensor dan opini ahli. Kategorisasi oven dalam siklus CE ( <i>Reuse, Repair, Remanufacture, Cascade</i> ) berdasarkan data sensor.
Sistem Tanggap Darurat Berbasis IoT dan ML (Fleischman et al., 2013)	Pengembangan sistem tanggap darurat otomatis yang memprioritaskan keadaan darurat berdasarkan data sensor real-time dari perangkat medis, rumah, dan kendaraan. * Penggunaan model XGBoost untuk memprediksi dan mengklasifikasikan tingkat keparahan keadaan darurat. Integrasi <i>Google Maps API</i> untuk visualisasi lokasi dan navigasi responden. Pengembangan antarmuka web untuk pemantauan data, notifikasi darurat, dan manajemen responden.
Prediksi Degradasi Baterai Perangkat IoT Menggunakan ML (Xiang et al., 2020)	Pengembangan model <i>Machine Learning</i> (ML) berbasis pemanfaatan (BHI) untuk memprediksi <i>State of Health</i> (SoH) baterai berdasarkan mode penggunaan perangkat IoT. * Pembuatan profil degradasi baterai yang menunjukkan efek berbagai mode penggunaan ( <i>standby, transmisi</i> ) terhadap kesehatan baterai. Penggunaan data <i>proprietary</i> untuk evaluasi model dan perbandingan dengan model <i>Linear Regression</i> (LinReg) dan <i>Gaussian Process Regression</i> (GPR).
Deteksi Serangan Botnet IoT Menggunakan <i>Federated Learning</i> (FL) (Al-Sarem et al., 2022)	Pengembangan sistem deteksi serangan botnet IoT berbasis <i>Federated Learning</i> (FL) dengan kompleksitas komputasi rendah. Penggunaan XGBoost untuk seleksi fitur dan <i>Principal Component Analysis</i> (PCA) untuk reduksi dimensi, meningkatkan efisiensi komputasi. Penerapan differential privasi dalam pelatihan model FL untuk menjaga privasi data. Pencapaian akurasi tinggi (99.93%) dengan kompleksitas komputasi rendah (8,612 FLOPs) dibandingkan model lain.
Sistem untuk Efisiensi Energi dan Manajemen Koloni Lebah (Azam et al., 2021)	Penggunaan teknologi <i>pulse-width modulation</i> untuk mengontrol suhu sarang lebah, dengan tujuan meningkatkan efisiensi energi dan kenyamanan lebah. Penggunaan <i>Machine Learning</i> untuk menganalisis data suhu dalam rangka mengoptimalkan manajemen koloni lebah. Peningkatan keberlanjutan dalam praktik peternakan lebah melalui implementasi teknologi.

Berdasarkan tabel 1 menyatakan bahwa integrasi *Internet of Things* (IoT) dan *Machine Learning* (ML) adalah tema sentral yang menghubungkan berbagai penelitian yang telah dibahas, menunjukkan bagaimana data dari sensor IoT dianalisis oleh model ML untuk menghasilkan informasi yang mendukung pengambilan keputusan yang lebih cerdas dan

---

efisien [semua sumber]. Studi-studi ini membuktikan bahwa IoT dan ML memiliki fleksibilitas penerapan yang luas, mencakup berbagai konteks mulai dari manajemen perangkat keras dan keberlanjutan hingga keamanan, response darurat, dan bahkan sektor pertanian seperti manajemen koloni lebah [semua sumber].

Dalam konteks manajemen perangkat keras dan keberlanjutan, penelitian tentang oven *microwave* berbasis IoT dan prediksi degradasi baterai perangkat IoT menyoroti penggunaan sensor IoT untuk pemantauan kondisi *real-time*. Data ini kemudian diproses dengan ML untuk memaksimalkan umur perangkat dan memprediksi degradasi baterai, yang menekankan pentingnya prinsip ekonomi sirkular dan efisiensi energi dalam pengembangan teknologi. Selain itu, studi tentang sistem tanggap darurat berbasis IoT dan deteksi serangan botnet IoT menunjukkan bagaimana IoT dan ML dapat meningkatkan keamanan dan kecepatan respons dalam situasi darurat, serta melindungi perangkat IoT dari ancaman siber. Studi-studi ini juga menekankan pentingnya menjaga privasi data, yang dicontohkan dengan penerapan *differential privacy* dalam sistem deteksi serangan botnet.

Di sektor pertanian, aplikasi IoT dan ML terlihat dalam penelitian tentang sistem efisiensi energi dan manajemen koloni lebah, di mana sensor digunakan untuk memantau suhu sarang dan ML untuk analisis data (Azam et al., 2021). Hal ini memungkinkan peternak lebah mengoptimalkan kondisi lingkungan lebah dan meningkatkan produktivitas madu. Semua penelitian ini menyoroti pentingnya efisiensi komputasi dalam implementasi model ML pada perangkat IoT yang memiliki keterbatasan sumber daya. Teknik seperti reduksi dimensi PCA dan pemilihan fitur XGBoost digunakan untuk mengurangi kompleksitas komputasi model tanpa mengorbankan akurasi (Jiang et al., 2021). Selain itu, penelitian degradasi baterai IoT menunjukkan bahwa data frekuensi rendah pun dapat menghasilkan model ML yang akurat dan efisien.

Secara keseluruhan, studi-studi ini membuktikan bahwa IoT dan ML adalah teknologi yang saling melengkapi, dengan potensi besar untuk menciptakan solusi inovatif di berbagai bidang. Pendekatan berbasis data sangat penting dalam pengembangan teknologi, dengan fokus pada keberlanjutan, keamanan, dan efisiensi sebagai pertimbangan utama. Oleh karena itu, berbagai studi ini tidak hanya menawarkan solusi untuk masalah saat ini, tetapi juga membuka jalan bagi inovasi berkelanjutan di masa depan.

## Kesimpulan

Integrasi *Internet of Things* (IoT) dan *Machine Learning* (ML) menunjukkan potensi besar dalam berbagai aplikasi, dari manajemen perangkat keras hingga sektor pertanian. Penggunaan sensor IoT untuk mengumpulkan data yang dianalisis dengan model ML memungkinkan pengambilan keputusan lebih efisien, memperpanjang masa pakai perangkat, dan mendukung prinsip ekonomi sirkular. Di bidang keamanan, IoT dan ML meningkatkan respons darurat dan deteksi serangan botnet dengan memastikan privasi data. Di sektor pertanian, keduanya digunakan untuk mengoptimalkan kondisi koloni lebah dan meningkatkan produktivitas madu. Penelitian ini juga menekankan efisiensi komputasi dalam penerapan ML pada perangkat IoT dengan teknik seperti reduksi dimensi dan pemilihan fitur, menghasilkan solusi yang efisien tanpa mengorbankan akurasi. Secara keseluruhan, integrasi IoT dan ML menawarkan solusi inovatif yang mendukung keberlanjutan, keamanan, dan efisiensi.

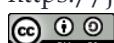
---

## Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam penelitian ini. Terutama, kami ingin mengapresiasi kontribusi dari berbagai penulis dan peneliti yang telah menyediakan studi literatur yang sangat membantu dalam membangun fondasi penelitian ini. Kami juga mengucapkan terima kasih kepada pihak yang memberikan bantuan administratif dan teknis yang sangat berharga dalam proses penelitian.

## Daftar Pustaka

- Al-Sarem, M., Saeed, F., Alkhammash, E. H., & Alghamdi, N. S. (2022). An Aggregated Mutual Information Based Feature Selection with *Machine Learning* Methods for Enhancing IoT Botnet Attack Detection. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 22(1). <https://doi.org/10.3390/S22010185>
- Andersson, M., Knutson Wedel, M., Forsgren, C., & Christéen, J. (2012). *Microwave assisted pyrolysis of residual fractions of waste electrical and electronics equipment*. *Minerals Engineering*, 29, 105–111. <https://doi.org/10.1016/J.MINENG.2011.09.005>
- Azam, A., Bai, Z., & Walling, J. S. (2021). An Ultra-Low Power CMOS Integrated Pulse-Width Modulated Temperature Sensor. *IEEE Sensors Journal*, 21(2), 1294–1304. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2020.3019324>
- Bal, A., & Badurdeen, F. (2022). *A simulation-based optimization approach for network design: The Circular Economy perspective*. *Sustainable Production and Consumption*, 30, 761–775. <https://doi.org/10.1016/J.SPC.2021.12.033>
- Bokstaller, J., & Schneider, J. (2025). Predicting battery degradation profiles of IoT device usage modes through *Machine Learning* utilization models. *Journal of Energy Storage*, 109. <https://doi.org/10.1016/J.EST.2024.115062>
- Dagevos, H., & de Lauwere, C. (2021). Circular Business Models and Circular Agriculture: Perceptions and Practices of Dutch Farmers. *Sustainability*, 13(3), 1–15. <https://doi.org/10.3390/SU13031282>
- Danieli, P. P., Addeo, N. F., Lazzari, F., Manganello, F., & Bovera, F. (2024). Precision Beekeeping Systems: State of the Art, Pros and Cons, and Their Application as Tools for Advancing the Beekeeping Sector. *Animals : An Open Access Journal from MDPI*, 14(1). <https://doi.org/10.3390/ANI14010070>
- Fleischman, R. J., Lundquist, M., Jui, J., Newgard, C. D., & Warden, C. (2013). Predicting Ambulance Time of Arrival to the Emergency Department Using Global Positioning System and Google Maps. *Prehospital Emergency Care*, 17(4), 458–465. <https://doi.org/10.3109/10903127.2013.811562>
- Jiang, H., Xiong, H., Wu, D., Liu, J., & Dou, D. (2021). AgFlow: fast model selection of penalized PCA via implicit regularization effects of gradient flow. *Machine Learning*, 110(8), 2131–2150. <https://doi.org/10.1007/S10994-021-06025-3>
- Kouchner, C., Ferrus, C., Blanchard, S., Decourtye, A., Basso, B., Le Conte, Y., & Tchamitchian, M. (2019). Bee farming system sustainability: An assessment framework in metropolitan France. *Agricultural Systems*, 176. <https://doi.org/10.1016/J.AGSY.2019.102653>



- Milos, L., Beqiri, B., Whalen, K. A., & Jelonek, S. H. (2019). Sailing towards a circular economy: Conditions for increased reuse and remanufacturing in the Scandinavian maritime sector. *Journal of Cleaner Production*, 225, 227–235. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.03.330>
- Mulet, E., Chulvi, V., & Royo, M. (2022). Analysis of attachment factors in small household EEE: An opportunity toward the circular economy. *Journal of Industrial Ecology*, 26(4), 1364–1377. <https://doi.org/10.1111/JIEC.13267>
- Negri, M., Neri, A., Cagno, E., & Monfardini, G. (2021). Circular Economy Performance Measurement in Manufacturing Firms: A Systematic Literature Review with Insights for Small and Medium Enterprises and New Adopters. *Sustainability*, 13(16). <https://doi.org/10.3390/SU13169049>
- Popoola, S. I., Ande, R., Adebisi, B., Gui, G., Hammoudeh, M., & Jogunola, O. (2022). Federated Deep Learning for Zero-Day Botnet Attack Detection in IoT-Edge Devices. *IEEE Internet of Things Journal*, 9(5), 3930–3944. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2021.3100755>
- Ting, L. S., Zailani, S., Sidek, N. Z. M., & Shaharudin, M. R. (2024). Motivators and barriers of circular economy business model adoption and its impact on sustainable production in Malaysia. *Environment, Development and Sustainability*, 26(7), 1–28. <https://doi.org/10.1007/S10668-023-03350-6>
- Xiang, M., He, Y., Zhang, H., Zhang, C., Wang, L., Wang, C., & Sui, C. (2020). State-of-Health Prognosis for Lithium-Ion Batteries Considering the Limitations in Measurements via Maximal Information Entropy and Collective Sparse Variational Gaussian Process. *IEEE Access*, 8, 188199–188217. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3029276>
- Yaseen, F. A., Alkhalidi, N. A., & Al-Raweshidy, H. S. (2022). SHE Networks: Security, Health, and Emergency Networks Traffic Priority Management Based on ML and SDN. *IEEE Access*, 10, 92249–92258. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3203070>
- Yoshihiro, T., & Hosio, S. (2023). Simulation-Based IoT Stream Data Pricing Incorporating Seller Competition and Buyer Demands. *IEEE Access*, 11, 16213–16225. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3246026>
- Zhao, M., Zhang, Y., & Wang, H. (2024). Battery degradation stage detection and life prediction without accessing historical operating data. *Energy Storage Materials*, 69. <https://doi.org/10.1016/J.ENS.2024.103441>

---

CC BY-SA 4.0 (Attribution-ShareAlike 4.0 International).

This license allows users to share and adapt an article, even commercially, as long as appropriate credit is given and the distribution of derivative works is under the same license as the original. That is, this license lets others copy, distribute, modify and reproduce the Article, provided the original source and Authors are credited under the same license as the original.

