JITE (Journal of Informatics and Telecommunication Engineering)

Available online <http://ojs.uma.ac.id/index.php/jite> DOI : 10.31289/jite.v5i2.6211

Received: 30 November 2021

Accepted: 10 December 2021

Published: 26 January 2022

Systematic Literature Review of Waste Classification Using Machine Learning

Astika Wulansari¹⁾, Arief Setyanto²⁾ & Emha Taufiq Luthfi³⁾*

1,2,3)Magister Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Amikom Yogyakarta, Indonesia

*Corresponding Email: emhataufiquluthfi@amikom.ac.id.

Abstrak

Perkembangan ekonomi global menyebabkan standar kehidupan masyarakat meningkat dan produksi sampah domestik semakin meningkat pula dari tahun ke tahun. Populasi kota besar yang memiliki keterbatasan daya dukung lingkungan, menyebabkan masalah sampah memerlukan penanganan yang serius. Pemilahan sampah secara manual membahayakan kesehatan, serta menghabiskan waktu, biaya, dan tenaga. Jika sampah tidak ditangani dengan baik, masalah lingkungan semakin meningkat dalam jangka panjang. Machine learning bekerja dengan menggabungkan fitur seperti tekstur dan warna untuk melengkapi pengenalan citra sampah. Teknologi machine learning saat ini terus berkembang, tidak hanya metode, jenis-jenis sampah dan fitur tetapi juga mengidentifikasi dan menganalisis dataset yang digunakan dalam pengelolaan sampah dengan mengumpulkan semua bukti ilmiah. Untuk mengumpulkan penelitian yang ada kemudian mengidentifikasi, menilai dan menafsirkan dibutuhkan systematic literature review (SLR). Hingga akhir tahun 2021 topik penelitian klasifikasi sampah menggunakan machine learning ditemukan dengan berbagai jenis sampah, algoritma, dataset dan lain-lain. Namun dataset yang digunakan algoritma dalam pengenalan gambar relatif tunggal, jenis sampah yang diklasifikasikan dan hasil akurasi relatif masih bisa ditingkatkan.

Kata Kunci: Pengolahan Citra, Machine Learning, systematic literature review, Klasifikasi Sampah.

Abstract

The development of the global economy has caused people's living standards to increase and the production of domestic waste has also increased from year to year. The population of big cities that have limited environmental carrying capacity, causing the waste problem requires serious handling. Manual waste sorting is hazardous to health and wastes time, money and effort. If waste is not handled properly, environmental problems will increase in the long run. Machine learning works by combining features such as textures and colors to complement junk image recognition. Today's machine learning technology continues to develop, not only methods, types of waste, and features but also identify and analyze datasets used in waste management by gathering all scientific evidence. Collecting existing research and then identifying, assessing, and interpreting requires a systematic literature review. Until the end of 2021, the research topic of waste classification using machine learning was found with various types of waste, algorithms, datasets, and others. However, the dataset used by the algorithm in image recognition is relatively single, the types of garbage classified and the relative accuracy results can still be improved.

Keywords: Image Processing, Machine Learning, Systematic Literature Review, Waste Classification.

How to Cite : Wulansari, A., Setyanto, A., & Luthfi, E. T. (2022). Systematic Literature Review of Waste Classification Using Machine Learning. *JITE (Journal of Informatics and Telecommunication Engineering)*, 5(2), 405–413.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan ekonomi global menyebabkan standar kehidupan masyarakat meningkat dan produksi sampah domestik semakin meningkat pula dari tahun ke tahun. Populasi kota besar yang memiliki keterbatasan daya dukung lingkungan, menyebabkan masalah sampah memerlukan penanganan yang serius. Pemilahan sampah secara manual membahayakan kesehatan, serta menghabiskan waktu, biaya, dan tenaga (Sudha et al., 2016). Pengelolaan sampah adalah operasi yang mahal karena membutuhkan banyak

kesepakatan sumber daya dan tenaga kerja (Sheng et al., 2020). Jika sampah tidak ditangani dengan baik, masalah lingkungan semakin meningkat dalam jangka panjang. Bahkan menjadi hambatan untuk pembangunan berkelanjutan (Song et al., 2020). Beberapa komponen sampah dapat dilakukan daur ulang. Daur ulang tidak hanya dapat menghemat atau mengurangi emisi tetapi juga menciptakan nilai dan mengurangi biaya (Longo et al., 2021). Pengelolaan klasifikasi sampah akan menjadi solusi terbaik karena selain praktis, perkembangan teknologi saat ini telah mencapai hasil pengenalan gambar sampah untuk dilakukan klasifikasi dengan menggunakan *machine learning* (Arora et al., 2020). *Machine learning* bekerja dengan menggabungkan fitur seperti tekstur dan warna untuk melengkapi pengenalan citra sampah (Altikat et al., 2021; Pamintuan et al., 2019). Namun dataset yang digunakan algoritma dalam pengenalan gambar relatif tunggal, jenis sampah yang diklasifikasikan dan hasil akurasi relatif masih bisa ditingkatkan (Frost et al., 2019; Ruiz et al., 2019).

Klasifikasi sampah menggunakan *machine learning* berkembang setiap tahun. Untuk mengumpulkan penelitian yang ada kemudian mengidentifikasi, menilai dan menafsirkan dibutuhkan *systematic literature review (SLR)*. SLR ini untuk mengetahui kinerja *machine learning* dalam melakukan klasifikasi sampah berdasarkan pengenalan gambar. SLR ini ditujukan para peneliti baru gambaran secara komprehensif dan terstruktur tentang pengelolaan sampah menggunakan *machine learning* (Sudha et al., 2016). Teknologi *machine learning* saat ini terus berkembang, tidak hanya metode, jenis-jenis sampah dan fitur tetapi juga mengidentifikasi dan menganalisis dataset yang digunakan dalam pengelolaan sampah dengan mengumpulkan semua bukti ilmiah. Diharapkan SLR ini dapat membantu menemukan pengembangan topik dan metode penelitian. SLR ini dikumpulkan dengan menggunakan kata kunci *image processing*, *machine learning*, and *waste classification* dari penelitian 5 (lima) tahun terakhir sampai September 2021.

II. METODE PENELITIAN

Pendekatan SLR ini untuk merinci dan menarik kesimpulan tentang manfaat dan batasan teknologi saat ini. Selain itu juga untuk memperoleh *research gap* serta wilayah penelitian baru yang menjadi peluang untuk diteliti. Penelitian ini menggunakan pendekatan sistematis untuk meninjau literatur tentang klasifikasi sampah menggunakan *machine learning*.

A. Pertanyaan Penelitian

Pertanyaan penelitian atau *Research Questions (RQ)* ditentukan agar tinjauan pustaka terfokus. RQ dirancang untuk dengan bantuan kriteria *Population*, *Intervention*, *Comparasion*, *Outcomes*, dan *Context* (PICOC) (Kitchenham, n.d.). Tabel 1 menunjukkan struktur (PICOC) dari pertanyaan penelitian.

Tabel 1. Ringkasan PICOC

<i>Population</i>	Pengolahan citra, <i>machine learning</i>
<i>Intervention</i>	Klasifikasi, dataset, model, metode
<i>Comparasion</i>	Akurasi, precision, dan recall, kinerja, kecepatan
<i>Outcomes</i>	Prediksi akurasi model, efisiensi kinerja model
<i>Context</i>	Masalah sampah di beberapa negara

Tujuan menggunakan metode SLR ini untuk menganalisis tren, kumpulan data, metode dan fitur yang digunakan untuk klasifikasi sampah menggunakan *machine learning*. Agar tinjauan tetap sesuai pada tujuan, penelitian ini dikelompokkan berdasarkan pertanyaan penelitian seperti pada tabel 2 berikut.

Tabel 2. Pertanyaan Penelitian

ID	Pertanyaan Penelitian	Tujuan
RQ ₁	Seperti apa penelitian tentang klasifikasi sampah dalam 5 tahun terakhir?	Identifikasi perkembangan penelitian tentang klasifikasi sampah.
RQ ₂	Dari mana sumber penelitian yang digunakan referensi klasifikasi sampah dengan <i>machine learning</i> ?	Identifikasi sumber penelitian sebagai referensi.
RQ ₃	Berasal dari negara mana para peneliti yang mengangkat penelitian klasifikasi sampah dengan <i>machine learning</i> ?	Identifikasi negara yang banyak melakukan penelitian klasifikasi sampah dengan <i>machine learning</i> .
RQ ₄	Jenis sampah apa saja yang diklasifikasikan <i>machine learning</i> ?	Identifikasi jenis sampah yang diklasifikasikan.
RQ ₅	Algoritma machine learning apa yang memberikan kinerja baik untuk mengidentifikasi jenis sampah?	Identifikasi algoritma yang digunakan <i>machine learning</i> dalam klasifikasi sampah.

B. Seleksi Studi

Penelitian yang masuk dalam SLR ini diterbitkan dalam kurun waktu 5 tahun terakhir, baik jurnal maupun konferensi. Sebelum melakukan pencarian, perlu memilih kata kunci yang sesuai untuk meningkatkan kemungkinan kesesuaian artikel yang dicari. Dari daftar *database digital* yang dipilih dikumpulkan membahas tentang klasifikasi sampah. Maka kata kunci yang digunakan adalah *waste classification, machine learning*, kemudian karena banyak yang menggunakan *Convolutional Neural Network* (CNN) maka selanjutnya menambahkan kata kunci CNN untuk klasifikasi sampah. Pencarian kata kunci difokuskan pada judul dan abstrak. Tahapan proses pencarian dan jumlah studi yang teridentifikasi ditunjukkan pada Gambar 1. Pemilihan proses penelitian dilakukan dalam dua langkah yaitu seleksi berdasarkan judul dan abstrak serta pemilihan teks lengkap. Penelitian yang tidak mengandung eksperimental tidak termasuk dalam *review*.

Gambar 1. Flowchart Pencarian Penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode SLR tentang klasifikasi sampah menggunakan *machine learning* dimulai tahun 2017 yaitu menyempurnakan model Faster R-CNN yang telah dilatih sebelumnya (Awe et al., n.d.). Penelitian ini melatih 2000 gambar yang berisi dua objek masing-masing dengan representasi cukup merata disetiap kelasnya. Hingga penelitian pada September 2021 menggunakan CNN (DenseNet169, AlexNet, GoogleNet, VGG) dikombinasikan dengan *transfer learning* dengan melatih 18.911 gambar berisi empat objek yang cukup merata disetiap kelasnya (Q. Zhang et al., 2021a). Berbagai evaluasi yang digunakan ternyata dapat mempengaruhi hasil penelitian.

A. Tahun Penelitian

Pada kurun waktu 2017 - 2021 penelitian tentang klasifikasi sampah menggunakan *machine learning* mengalami peningkatan. Peningkatan yang signifikan terjadi pada dua tahun terakhir yakni 2020 dan 2021 (Dubey et al., 2020; Q. Zhang et al., 2021b). Grafik distribusi tahun penelitian ditunjukkan pada gambar 2 dengan jumlah prosentase.

Gambar 2. Tahun Penelitian

Hal ini menunjukkan bahwa penelitian bidang ini masih sangat relevan untuk dilakukan hingga saat ini. Permasalahan pengelolaan sampah masih menjadi perhatian khusus terutama dua tahun terakhir saat dunia mengalami pandemi Covid-19.

B. Sumber Penelitian

Pada penelitian ini, database digital yang dipilih adalah IEEE Xplore (ieeexplore.ieee.org), ScienceDirect (sciencedirect.com), ACM Digital Library (dl.acm.org), Springer (springerlink.com), dan sumber lain seperti onlinelibrary.wiley.com, cs229.stanford.edu, arxiv.org. Bagian dari distribusi sumber penelitian dijelaskan dalam gambar 3.

Gambar 3. Sumber Penelitian

Database digital IEEE Xplore memberikan kontribusi terbanyak. Hal ini disebabkan fokus IEEE Xplore dalam mempercepat teknologi baru di semua aspek dalam industri dan rekayasa (*engineering*) termasuk dalam tema penelitian ini.

C. Negara

Adapun negara yang berkontribusi tentang penelitian pengelolaan sampah ini seperti pada gambar 4. Beberapa negara berkembang dan negara maju gencar mempromosikan kebijakan klasifikasi sampah (Mao et al., 2021), namun belum mencapai hasil yang ideal (Liu et al., 2019).

Gambar 4. Negara.

Keberhasilan sebuah negara dalam mengelola sampah tentu akan berdampak bagi masyarakatnya. Bahkan bisa memberi dampak baik bagi negara lain untuk mengadopsi teknologi pengelolaan sampah. Keberhasilan pengelolaan sampah di suatu negara, diharapkan akan banyak lagi negara lain turut serta dalam pengurangan sampah dengan penerapan teknologi yang terbaru.

D. Jenis Sampah

Penelitian yang sudah dikumpulkan dari beberapa database digital dikelompokkan ke jenis sampah yang memiliki kesamaan (Wang et al., 2021). Jenis sampah paling banyak adalah sampah rumah tangga sebagai sistem adaptif yang kompleks (Chu et al., 2018; Tehrani & Karbasi, 2017). Pengolahan gambar kertas, plastik, metal dan kaca paling mendominasi penelitian klasifikasi dalam 5 tahun terakhir (Jha et al., 2021; S. Zhang et al., 2021).

Gambar 5. Jenis Sampah

Teknologi pengelolaan sampah yang masih memiliki peluang untuk dilakukan penelitian seperti sebaran grafik pada gambar 5 adalah sampah medis. Terutama seperti saat ini pandemi Covid-19, sampah medis juga masih memiliki peluang untuk dilakukan penelitian (Bian et al., 2021). Penggunaan masker, pelaksanaan program vaksinasi, atau tes antigen sebagai syarat mobilitas masyarakat adalah salah satu contoh kegiatan yang menghasilkan sampah medis saat pandemi.

E. Algoritma

Teknik klasifikasi sampah secara otomatis akan lebih akurat berkat teknologi yang dikembangkan seperti *machine learning* atau *artificial intelligent* (Ha & Tang, 2021; Thokrairak et al., 2020). Pada awal model jaringan syaraf tiruan dibangun menggunakan indikator sosial-ekonomi (misalnya, usia penduduk dan tingkat pendidikan) sebagai masukan untuk memprediksi kuantitas dan komposisi limbah padat di Serbia (Altikat et al., 2021). 18 Limbah padat dikelompokkan menjadi enam kategori: organik sampah, plastik, kertas, logam, kaca, dan lain-lain (Azis et al., 2020; Huiyu et al., 2019). SVM19 dengan SIFT dan CNN digunakan untuk klasifikasi citra limbah tunggal (Huang et al., 2020). Pengklasifikasi CNN (yaitu, VGG16, ResNet50, MobileNetV2, dan DenseNet121) (Huang et al., 2020), untuk mengklasifikasikan empat kategori limbah yang ditentukan pengguna (Azis et al., 2020; Bobulski & Kubanek, 2019). Diagram distribusi penggunaan algoritma dalam klasifikasi sampah seperti pada gambar 6.

Algoritma

Gambar 4. Algoritma

Dari penelitian yang telah dilakukan, dataset merupakan bagian yang bermasalah dalam sebagian besar permasalahan (Adedeji & Wang, 2019; Gyawali et al., 2020). Kebutuhan dari dataset yang mencakup kumpulan masalah dengan benar menjadi sangat penting (Delnevo et al., 2021; Li et al., 2020; Nandhini et al., 2019). Untuk klasifikasi sampah, menggunakan dataset yang didedikasikan untuk tugas klasifikasi sampah di Kaggle (Meng & Chu, 2020). Beberapa solusi dataset berbasis gambar diperkenalkan untuk klasifikasi limbah (Ahmed et al., 2020; Arancibia et al., 2021) seperti ImageNet, TrashNet, atau dataset yang dilakukan untuk penelitian klasifikasi sampah (Ahmed et al., 2020; Behera et al., 2020).

IV. SIMPULAN

Penelitian tinjauan sistematis pustaka ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis tren tahun penelitian, sumber penelitian, negara, jenis sampah, dan algoritma yang digunakan dalam penelitian klasifikasi sampah menggunakan machine learning selama 5 (lima) tahun terakhir yaitu 2017 hingga 2021. Penelusuran database digital yang dipilih adalah IEEE Xplore (ieeexplore.ieee.org), ScienceDirect (sciencedirect.com), ACM Digital Library (dl.acm.org), Springer (springerlink.com), dan sumber lain seperti onlinelibrary.wiley.com, cs229.stanford.edu, arxiv.org. Dengan kata kunci *image processing*, *machine learning*, dan *waste classification*. Dari 58 studi yang ditemukan 48 studi dimasukkan dalam inklusi yang dirancang dan kriteria pengecualian. Tinjauan pustaka sistematis menjadi proses mengidentifikasi, menilai, dan memberikan bukti penelitian yang tersedia dengan tujuan memberikan jawaban atas pertanyaan penelitian. Analisis penelitian klasifikasi sampah menggunakan *machine learning* bahwa sebagian besar penelitian ini dikerjakan pada 2 tahun terakhir yaitu sebanyak 41.2% pada tahun 2020 dan sebanyak 31.4% pada September 2021, dengan sumber penelitian paling banyak menyajikan penelitian ini adalah IEEE Xplore sebanyak 45.3% dan Sciencedirect sebanyak 20.8%. Negara yang banyak mengulas penelitian pengelolaan sampah adalah 19,4% berasal dari India dan 17.7% berasal dari China. Jenis sampah yang diklasifikasikan *machine learning* paling banyak adalah kelompok sampah rumah tangga seperti kertas, plastik, metal, dan kaca sebesar 56.8%. Sedangkan kelompok sampah yang kedua adalah *biodegradable* dan *non-biodegradable* sebanyak 15.9%.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmed, L., Ahmad, K., Said, N., Qolomany, B., Qadir, J., & Al-Fuqaha, A. (2020). Active Learning Based Federated Learning for Waste and Natural Disaster Image Classification. *IEEE Access*, 8, 208518–208531. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3038676>(Ahmed dkk., 2020)

- Altikat, A., Gulbe, A., & Altikat, S. (2021). Intelligent solid waste classification using deep convolutional neural networks. *International Journal of Environmental Science and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03179-4>(Ahmed dkk., 2020)
- Arora, B., Bhagat, N., Saritha, L. R., & Arcot, S. (2020). Rice Grain Classification using Image Processing & Machine Learning Techniques. *2020 International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT)*, 205–208. <https://doi.org/10.1109/ICICT48043.2020.9112418>
- Awe, O., Mengistu, R., & Sreedhar, V. (n.d.). *Final Report: Smart Trash Net: Waste Localization and Classification*. 6.
- Azis, F. A., Suhaimi, H., & Abas, E. (2020). Waste Classification using Convolutional Neural Network. *Proceedings of the 2020 2nd International Conference on Information Technology and Computer Communications*, 9–13. <https://doi.org/10.1145/3417473.3417474>
- Behera, S. K., Y, A. B. S., L, V., G, S., C, H. N., & J, S. P. (2020). AI Based Waste Classifier With Thermo-Rapid Composting. *2020 International Conference on Power, Energy, Control and Transmission Systems (ICPECTS)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICPECTS49113.2020.9337012>
- Bian, X., Chen, Y., Wang, S., Cheng, F., & Cao, H. (2021). Medical Waste Classification System Based on OpenCV and SSD-MobileNet for 5G. *2021 IEEE Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/WCNCW49093.2021.9420036>
- Bobulski, J., & Kubanek, M. (2019). Waste Classification System Using Image Processing and Convolutional Neural Networks. In I. Rojas, G. Joya, & A. Catala (Eds.), *Advances in Computational Intelligence* (Vol. 11507, pp. 350–361). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-20518-8_30
- Chen, Y., Sun, J., Bi, S., Meng, C., & Guo, F. (2021). Multi-objective solid waste classification and identification model based on transfer learning method. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 23(6), 2179–2191. <https://doi.org/10.1007/s10163-021-01283-8>
- Chu, Y., Huang, C., Xie, X., Tan, B., Kamal, S., & Xiong, X. (2018). Multilayer Hybrid Deep-Learning Method for Waste Classification and Recycling. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2018, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2018/5060857>
- Delnevo, G., Aguzzi, G., Letizi, S., Luffarelli, M., Petreti, A., & Mirri, S. (2021). Encouraging users in waste sorting using deep neural networks and gamification. *Proceedings of the Conference on Information Technology for Social Good*, 230–235. <https://doi.org/10.1145/3462203.3477056>
- Dubey, S., Singh, M. K., Singh, P., & Aggarwal, S. (2020). Waste Management of Residential Society using Machine Learning and IoT Approach. *2020 International Conference on Emerging Smart Computing and Informatics (ESCI)*, 293–297. <https://doi.org/10.1109/ESCI48226.2020.9167526>
- Frost, S., Tor, B., Agrawal, R., & Forbes, A. G. (2019). CompostNet: An Image Classifier for Meal Waste. *2019 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/GHTC46095.2019.9033130>
- Gyawali, D., Regmi, A., Shakya, A., Gautam, A., & Shrestha, S. (2020). Comparative Analysis of Multiple Deep CNN Models for Waste Classification. *ArXiv:2004.02168 [Cs]*. <http://arxiv.org/abs/2004.02168>
- Huang, G.-L., He, J., Xu, Z., & Huang, G. (2020). A combination model based on transfer learning for waste classification. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 32(19), e5751. <https://doi.org/10.1002/cpe.5751>
- Version:0.9   StartHTML:0000000105   EndHTML:0000001159   StartFragment:0000000141
EndFragment:0000001119
- Kitchenham, B., & Charters, S. (2007). Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering. *EBSE Technical Report Version 2.3, EBSE-2007-*.
- Jha, B. K., G, S. G., & R, V. K. (2021). E-Commerce Product Image Classification using Transfer Learning. *2021 5th International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC)*, 904–912. <https://doi.org/10.1109/ICCMC51019.2021.9418371>
- Li, S., Yan, M., & Xu, J. (2020). Garbage object recognition and classification based on Mask Scoring RCNN. *2020 International Conference on Culture-Oriented Science & Technology (ICCST)*, 54–58. <https://doi.org/10.1109/ICCST50977.2020.00016>
- Liu, X., Wang, Z., Li, W., Li, G., & Zhang, Y. (2019). Mechanisms of public education influencing waste classification willingness of urban residents. *Resources, Conservation and Recycling*, 149, 381–390. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.06.001>
- Longo, E., Sahin, F. A., Redondi, A. E. C., Bolzan, P., Bianchini, M., & Maffei, S. (2021). Take the trash out... To the edge. Creating a Smart Waste Bin based on 5G Multi-access Edge Computing. *Proceedings of the Conference on Information Technology for Social Good*, 55–60. <https://doi.org/10.1145/3462203.3475921>

- Mao, W.-L., Chen, W.-C., Wang, C.-T., & Lin, Y.-H. (2021). Recycling waste classification using optimized convolutional neural network. *Resources, Conservation and Recycling*, 164, 105132. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105132>
- Meng, S., & Chu, W.-T. (2020). A Study of Garbage Classification with Convolutional Neural Networks. *2020 Indo – Taiwan 2nd International Conference on Computing, Analytics and Networks (Indo-Taiwan ICAN)*, 152–157. <https://doi.org/10.1109/Indo-TaiwanICAN48429.2020.9181311>
- Nandhini, S., Mrinal, S. S., Balachandran, N., Suryanarayana, K., & Ram, D. S. H. (2019). Electronically assisted automatic waste segregation. *2019 3rd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI)*, 846–850. <https://doi.org/10.1109/ICOEI.2019.8862666>
- Pamintuan, M., Mantiquilla, S. M., Reyes, H., & Samonte, M. J. (2019). i-BIN: An Intelligent Trash Bin for Automatic Waste Segregation and Monitoring System. *2019 IEEE 11th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management (HNICEM)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/HNICEM48295.2019.9072787>
- Ruiz, V., Sánchez, Á., Vélez, J. F., & Raducanu, B. (2019). Automatic Image-Based Waste Classification. In J. M. Ferrández Vicente, J. R. Álvarez-Sánchez, F. de la Paz López, J. Toledo Moreo, & H. Adeli (Eds.), *From Bioinspired Systems and Biomedical Applications to Machine Learning* (Vol. 11487, pp. 422–431). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-19651-6_41
- Sheng, T. J., Islam, M. S., Misran, N., Baharuddin, M. H., Arshad, H., Islam, Md. R., Chowdhury, M. E. H., Rmili, H., & Islam, M. T. (2020). An Internet of Things Based Smart Waste Management System Using LoRa and Tensorflow Deep Learning Model. *IEEE Access*, 8, 148793–148811. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3016255>
- Song, F., Zhang, Y., & Zhang, J. (2020). Optimization of CNN-based Garbage Classification Model. *Proceedings of the 4th International Conference on Computer Science and Application Engineering*, 1–5. <https://doi.org/10.1145/3424978.3425089>
- Sudha, S., Vidhyalakshmi, M., Pavithra, K., Sangeetha, K., & Swaathi, V. (2016). An automatic classification method for environment: Friendly waste segregation using deep learning. *2016 IEEE Technological Innovations in ICT for Agriculture and Rural Development (TIAR)*, 65–70. <https://doi.org/10.1109/TIAR.2016.7801215>
- Tehrani, A., & Karbasi, H. (2017). A novel integration of hyper-spectral imaging and neural networks to process waste electrical and electronic plastics. *2017 IEEE Conference on Technologies for Sustainability (SusTech)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/SusTech.2017.8333533>
- Thokrairak, S., Thibuy, K., & Jitngernmadan, P. (2020). Valuable Waste Classification Modeling based on SSD-MobileNet. *2020 - 5th International Conference on Information Technology (InCIT)*, 228–232. <https://doi.org/10.1109/InCIT50588.2020.9310928>
- Wang, C., Qin, J., Qu, C., Ran, X., Liu, C., & Chen, B. (2021). A smart municipal waste management system based on deep-learning and Internet of Things. *Waste Management*, 135, 20–29. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.08.028>
- Zhang, Q., Yang, Q., Zhang, X., Bao, Q., Su, J., & Liu, X. (2021). Waste image classification based on transfer learning and convolutional neural network. *Waste Management*, 135, 150–157. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.08.038>
- Zhang, S., Chen, Y., Yang, Z., & Gong, H. (2021). Computer Vision Based Two-stage Waste Recognition-Retrieval Algorithm for Waste Classification. *Resources, Conservation and Recycling*, 169, 105543. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105543>