



# Inovasi Ramah Lingkungan: Studi Literatur Robot Daisy *Apple Inc.* dalam Mendukung Daur Ulang Elektronik Berkelanjutan

Ni Wayan Deasi Sastra Astiti<sup>1</sup>, Rahma Sari<sup>2</sup>, Sylvia Emily Binbyak Manpioper<sup>3</sup>, Ulfia Rahma<sup>4</sup>, Nurhayati<sup>2\*</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Program Studi Digital Business Technology, Sekolah STEM, Universitas Prasetiya Mulya, Tangerang 15339, Indonesia

<sup>5</sup> Program Studi Food Business Technology, Sekolah STEM, Universitas Prasetiya Mulya, Tangerang 15339, Indonesia

**Abstrak:** Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis peran robot Daisy yang dikembangkan oleh Apple Inc. dalam mendukung daur ulang limbah elektronik (e-waste) yang berkelanjutan melalui pendekatan ekonomi sirkular. Metodologi yang digunakan adalah studi literatur dengan menelaah publikasi akademik, laporan keberlanjutan perusahaan (2018–2024), dokumen paten, serta laporan kebijakan global yang berkaitan dengan e-waste. Analisis dilakukan secara tematik dengan mencakup aspek desain teknis, inovasi lingkungan, dampak lingkungan, dan tantangan implementasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Daisy mampu membongkar iPhone dengan tingkat presisi tinggi sekaligus memulihkan material berharga seperti kobalt, emas, tungsten, dan unsur tanah jarang untuk diintegrasikan kembali ke dalam rantai pasok. Teknologi ini berkontribusi pada peningkatan pemanfaatan material daur ulang dan mendukung upaya perusahaan dalam mengurangi emisi gas rumah kaca. Namun demikian, Daisy menghadapi beberapa keterbatasan, termasuk fokus eksklusif pada produk iPhone, kebutuhan investasi yang besar, serta belum sepenuhnya terintegrasinya prinsip Design for Disassembly (DfD). Selain itu, muncul kekhawatiran terkait potensi praktik greenwashing dan terbatasnya dampak global dari inisiatif ini. Secara keseluruhan, Daisy merepresentasikan kemajuan signifikan dalam otomatisasi daur ulang limbah elektronik. Meskipun demikian, integrasi yang lebih luas terhadap desain produk berkelanjutan serta kolaborasi lintas sektor tetap diperlukan guna mencapai solusi yang berskala dan sistemik.

**Kata Kunci:** Apple Inc., Daisy, Daur Ulang Elektronik, Limbah Elektronik, Keberlanjutan

DOI:

<https://doi.org/10.47134/ijat.v3i1.5546>

\*Correspondence: Nurhayati

Email: [nurhayati@prasetiyamulya.ac.id](mailto:nurhayati@prasetiyamulya.ac.id)

Received: 27-12-2025

Accepted: 27-01-2026

Published: 27-02-2026



**Copyright:** © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (BY SA) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

**Abstract:** This study aims to analyze the role of the Daisy robot developed by Apple Inc. in supporting sustainable electronic waste (e-waste) recycling through a circular economy approach. A literature review methodology was employed by examining academic publications, corporate sustainability reports (2018–2024), patent documents, and global policy reports related to e-waste. The analysis was conducted thematically, covering technical design, environmental innovation, environmental impact, and implementation challenges. The findings indicate that Daisy is capable of disassembling iPhones with high precision while recovering valuable materials such as cobalt, gold, tungsten, and rare earth elements for reintegration into the supply chain. This technology contributes to increased utilization of recycled materials and supports the company's efforts to reduce greenhouse gas emissions. However, Daisy faces several limitations, including its exclusive focus on iPhone products, substantial investment requirements, and incomplete integration with Design for Disassembly (DfD) principles. Furthermore, concerns have been raised regarding potential greenwashing and the limited global impact of the initiative. Overall, Daisy represents a significant advancement in automated e-waste recycling. Nevertheless, broader integration of sustainable product design and cross-sector collaboration is necessary to achieve scalable and systemic solutions.

**Keywords:** Apple inc., Daisy, Electronic Recycle, Electronic Waste, Sustainability

## Pendahuluan

Permasalahan limbah elektronik (*e-waste*) telah menjadi tantangan global yang mendesak. Limbah ini bersumber dari semua peralatan elektronik seperti komputer, ponsel, dan televisi yang sudah tidak terpakai, rusak, dan dibuang oleh pemiliknya (Jain et al., 2023). Studi Global *E-waste Monitor 2024* melaporkan bahwa pada tahun 2022 dunia menghasilkan 62 juta ton e-waste pada tahun 2022, dengan hanya 22,3% yang didaur ulang secara formal (Forti et al., 2024). Tindakan daur ulang yang rendah menyebabkan akumulasi limbah elektronik di lingkungan meningkat dari tahun ke tahun, menyebabkan pencemaran lingkungan akibat kandungan logam berat seperti timbal, merkuri, dan kadmium, sekaligus menghamburkan sumber daya berharga seperti emas, kobalt, dan *rare earth* yang tidak dapat dipulihkan (Ankit et al., 2021; Saenz et al., 2024). Kontaminasi air dan tanah, polusi udara oleh material toksik seperti dioksin dan furan yang rilis ke atmosfer, serta menyebabkan penyakit neurologis pada manusia merupakan beberapa kasus yang disebabkan oleh sediaan limbah elektronik di lingkungan (Beula & Sureshkumar, 2021; Talpalaru et al., 2025).

Sektor ponsel pintar atau *smartphone* memberikan kontribusi sebesar 12% terhadap akumulasi sampah elektronik di dunia (Chatterjee, 2021). Volume produksi yang tinggi serta perubahan model karena keusangan secara estetika dan teknis yang menyebabkan pembuangan sebelum waktunya menyebabkan kontribusi terhadap akumulasi limbah elektronik asal *smartphone* (Islam et al., 2020). **Literatur global mencatat bahwa *e-waste* merupakan aliran limbah yang tumbuh cepat dan hanya sebagian kecil yang didaur ulang disebabkan karena kompleksitas komposisi serta kurangnya infrastruktur pengelolaan yang memadai di banyak negara, juga meski ada berbagai teknologi daur ulang yang dikembangkan, tantangan utama masih meliputi koleksi, pra-perlakuan, pemisahan material, serta integrasi prinsip ekonomi sirkular dalam desain produk elektronik (Goyal & Gupta, 2024; Shahabuddin et al., 2023).** Produsen *smartphone* global Apple Inc. muncul sebagai salah satu pelopor industri yang mengintegrasikan prinsip keberlanjutan melalui inovasi teknologi untuk mendaur ulang sampah elektronik untuk produk perusahaan. Pada 2018, Apple memperkenalkan robot Daisy sebagai pengganti generasi sebelumnya, Liam, untuk meningkatkan efisiensi daur ulang iPhone (Jackson, 2023). Daisy dirancang untuk mendukung ekonomi sirkular dengan memulihkan material bernilai tinggi dari perangkat yang sudah tidak terpakai, sekaligus mengurangi ketergantungan pada penambangan bahan baku baru. Robot Daisy diketahui dapat membongkar iPhone bekas dan memulihkan material bernilai tinggi. Inovasi ini tidak hanya bertujuan mengurangi ketergantungan pada penambangan bahan baku baru, tetapi juga menawarkan presisi dan kecepatan yang jauh melampaui metode daur ulang konvensional. Namun, di balik potensinya, beberapa pertanyaan kritis muncul:

1. Sejauh mana desain teknis Daisy mampu mengoptimalkan pemulihan material?
2. Bagaimana kontribusinya dalam mengurangi dampak lingkungan dibandingkan pendekatan tradisional?
3. Apa tantangan utama yang membatasi skalabilitas solusi ini?

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menganalisis peran robot Daisy dalam mendukung daur ulang elektronik berkelanjutan melalui kajian literatur. Dengan mengevaluasi aspek teknologi, dampak lingkungan, dan keterbatasannya, studi ini diharapkan dapat memberikan pemahaman komprehensif terhadap penerapan robotik dalam ekonomi sirkular. Temuan ini tidak hanya relevan bagi pengembangan strategi daur ulang industri, tetapi juga dapat menjadi dasar bagi pembuat kebijakan dalam merumuskan regulasi pengelolaan *e-waste* yang lebih efektif. Lebih jauh, diskusi kritis yang dihasilkan dapat memicu inovasi serupa di sektor lain untuk mempercepat transisi menuju sistem produksi yang lebih berkelanjutan.

## Metodologi

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur untuk menganalisis peran robot Daisy dalam mendukung daur ulang elektronik berkelanjutan. Pendekatan ini dipilih karena memungkinkan pengumpulan dan analisis data komprehensif dari berbagai sumber terpercaya tanpa melakukan eksperimen langsung. Data dikumpulkan dari tiga jenis sumber utama: (1) sumber akademik seperti jurnal ilmiah dan prosiding konferensi yang membahas robotik daur ulang dan ekonomi sirkular; (2) sumber industri termasuk laporan keberlanjutan Apple Inc. (2018-2023) dan dokumen paten terkait Daisy; serta (3) sumber kebijakan global dari organisasi seperti ITU dan UNEP yang menyediakan data statistik *e-waste*. Pencarian literatur dilakukan menggunakan *database* Google Scholar, IEEE Xplore, ScienceDirect, dan Google Search dengan kata kunci "*Daisy robot Apple*", "*e-waste recycling technology*", dan "*sustainable electronics*", dengan rentang waktu publikasi 2018-2024 untuk memastikan relevansi temuan.

Proses penelitian terdiri dari empat tahap utama. Pertama, pengumpulan data dengan menyaring sumber berdasarkan kriteria kelayakan seperti relevansi topik dan kredibilitas penerbit. Kedua, seleksi sumber dengan memprioritaskan artikel *peer-reviewed* dan laporan resmi perusahaan, sementara mengesampingkan konten yang tidak fokus pada fungsi Daisy atau daur ulang iPhone. Ketiga, analisis data tematik dengan mengelompokkan temuan ke dalam kategori seperti desain teknis, dampak lingkungan, dan tantangan implementasi. Terakhir, sintesis hasil untuk menyusun pembahasan yang koheren berdasarkan bukti dari literatur yang diverifikasi. Meskipun metode ini memberikan keunggulan dalam cakupan analisis yang luas, terdapat beberapa keterbatasan. Pertama, ketergantungan pada data terbuka dari Apple Inc. yang mungkin tidak mengungkap detail teknis tertentu tentang Daisy. Kedua, potensi bias publikasi karena literatur cenderung menonjolkan keberhasilan teknologi dibandingkan kelemahannya. Ketiga, rentang waktu penelitian yang terbatas pada tahun 2018-2024 mungkin melewatkan perkembangan terbaru di luar periode tersebut. Namun, pendekatan ini tetap efektif untuk menghasilkan evaluasi berbasis bukti tentang kontribusi Daisy terhadap daur ulang berkelanjutan, sekaligus memberikan dasar untuk penelitian lanjutan yang lebih mendalam.

## Hasil dan Pembahasan

### Deskripsi Teknis Robot Daisy

Robot Daisy merupakan inovasi yang dihadirkan Apple Inc. sebagai solusi yang dirancang khusus untuk mendukung daur ulang elektronik berkelanjutan. Fungsi utama Daisy adalah untuk membongkar iPhone bekas secara otomatis untuk memulihkan material bernilai tinggi. Laser dan Stowell (2020) menjelaskan Daisy mampu melepas komponen-komponen penting seperti baterai dan papan logan dengan presisi tinggi, memastikan pemisahan material yang optimal untuk proses daur ulang (Laser & Stowell, 2020). Daisy tidak hanya efisien dalam proses pembongkaran, tetapi juga mampu memulihkan berbagai logam kritikal yang terkandung dalam perangkat iPhone. Daisy dapat mengekstrak kobalt dari baterai, emas dan tungsten dari papan sirkuit, serta elemen tanah jarang (*rare earth*) dari komponen magnetic (Laser & Stowell, 2020). Material-material ini kemudian dikembalikan ke rantai pasokan Apple sehingga mengurangi ketergantungan pada penambangan bahan baku baru dan mendukung prinsip ekonomi sirkular. Keunggulan Daisy terletak pada kecepatan dan akurasi yang jauh melampaui kemampuan manusia. Apple menyebutkan bahwa Daisy dapat memproses 200 buah unit iPhone per jam dengan tingkat akurasi hingga 95%, sementara pekerja manusia hanya mampu membongkar 10 hingga 20 unit per jam dengan risiko kesalahan yang lebih tinggi akibat kelelahan (Jackson & Apple Inc., 2018). Selain itu, penggunaan robot ini meminimalkan kontaminasi material selama proses daur ulang, sehingga meningkatkan kualitas hasil akhir. Dengan kombinasi efisiensi, presisi, dan kemampuan pemulihan material, Daisy menjadi contoh nyata penerapan teknologi robotik dalam mendukung keberlanjutan lingkungan.

### Inovasi Lingkungan dan Teknologi

Apple Inc. menempatkan inovasi sebagai inti dari strategi lingkungannya dalam mencapai target karbon netral pada tahun 2030 melalui inisiatif Apple 2030. Strategi komprehensif ini menargetkan pengurangan emisi karbon sebesar 75% dibandingkan dengan tahun dasar 2015, dengan fokus utama pada dekarbonisasi di tiga sektor kunci: material, energi listrik, dan transportasi (Apple Inc., 2024). Salah satu inovasi yang paling signifikan terletak pada implementasi material daur ulang dan energi bersih dalam keseluruhan proses produksi. Data tahun 2023 menunjukkan bahwa 22% dari total material yang digunakan dalam produk Apple berasal dari sumber daur ulang atau terbarukan. Pencapaian ini mencakup penggunaan 71% aluminium daur ulang, 52% kobalt daur ulang, 25% emas daur ulang, serta lebih dari 99% tungsten daur ulang dalam berbagai produk Apple (Apple Inc., 2024). Perusahaan juga menghadirkan terobosan melalui material yang sepenuhnya berasal dari daur ulang, seperti penggunaan kobalt daur ulang 100% pada baterai iPhone 15 dan Apple Watch Series 9, serta implementasi emas daur ulang pada konektor USB-C dan papan sirkuit tercetak. Inovasi-inovasi ini merupakan hasil dari upaya Apple membangun rantai pasokan melingkar (*circular supply chain*), yang dirancang untuk mengurangi ketergantungan terhadap sumber daya alam primer sekaligus meminimalkan jejak karbon produk secara menyeluruh (Apple Inc., 2024).

Dalam aspek energi, Apple menjalankan Supplier Clean Energy Program sejak tahun 2015 untuk mengalihkan konsumsi energi mitra manufaktur ke sumber-sumber terbarukan. Hingga Maret 2024, lebih dari 320 pemasok yang mencakup 95% dari total pengeluaran manufaktur langsung Apple telah berkomitmen menggunakan listrik terbarukan 100% untuk seluruh produksi Apple (Apple Inc., 2024). Pada bidang teknologi daur ulang, Apple mengembangkan robot bernama Daisy yang memiliki kemampuan membongkar hingga 200 unit iPhone per jam sambil mengekstrak lebih dari 15 komponen berharga dengan tingkat presisi tinggi, termasuk logam tanah jarang serta logam mulia seperti emas dan kobalt. Daisy tidak hanya mempercepat proses pemulihan bahan, tetapi juga memberikan efisiensi yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan metode konvensional (Apple Inc., 2024).

Keseluruhan inovasi ini mencerminkan pendekatan *life cycle thinking* yang komprehensif dari Apple, di mana setiap tahap dalam siklus hidup produk mulai dari desain, produksi, penggunaan, hingga daur ulang dioptimalkan untuk mencapai pengurangan dampak lingkungan yang signifikan. Melalui pendekatan ini, Apple tidak hanya menetapkan standar keberlanjutan baru dalam industri teknologi, tetapi juga mendorong transformasi sistemik melalui integrasi antara inovasi teknologi dan tanggung jawab lingkungan yang berkelanjutan.

### **Dampak Terhadap Lingkungan**

Implementasi strategi keberlanjutan Apple Inc. memberikan dampak yang nyata terhadap lingkungan global. Sejak tahun 2015, Apple berhasil mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK) lebih dari 55% meskipun pendapatannya meningkat 64% dalam periode yang sama (Apple Inc., 2024). Pengurangan ini dicapai melalui beberapa inisiatif strategis, antara lain peralihan ke energi bersih di seluruh operasi, efisiensi energi produk, serta penggunaan material daur ulang dan terbarukan. Dalam konteks energi, Apple telah menerapkan Supplier Clean Energy Program, yang hingga Maret 2024 telah melibatkan lebih dari 320 pemasok di seluruh dunia. Para pemasok ini — mencakup 95% dari total pengeluaran manufaktur langsung Apple — telah berkomitmen menggunakan energi terbarukan 100% untuk seluruh produksi produk (Apple Inc., 2024). Inisiatif ini mendorong dekarbonisasi rantai pasok secara sistemik dan berkelanjutan. Dari sisi material, 22% bahan produk yang dikapalkan Apple pada 2023 berasal dari sumber daur ulang atau terbarukan. Ini termasuk 71% aluminium, 52% kobalt, 25% emas, dan lebih dari 99% tungsten (Forti et al., 2024). Inovasi ini tidak hanya mengurangi jejak karbon, tetapi juga menekan ketergantungan terhadap penambangan bahan mentah yang merusak lingkungan.

Efisiensi energi produk Apple juga mengalami peningkatan signifikan. Misalnya, penggunaan chip Apple Silicon yang hemat daya di berbagai lini produk telah membantu Apple mengurangi konsumsi energi perangkat hingga lebih dari 70% sejak 2008 (Apple Inc., 2024). Selain itu, fitur seperti Clean Energy Charging pada iOS dan Grid Forecast di aplikasi Home mendorong pengguna untuk mengisi daya saat energi bersih tersedia di jaringan listrik (Apple Inc., 2024). Meskipun capaian ini sangat menjanjikan, Apple masih menghadapi tantangan dalam hal daur ulang komponen elektronik kompleks, serta isu

planned obsolescence yang mempercepat siklus konsumsi produk. Oleh karena itu, meskipun pendekatan life cycle assessment (LCA) Apple telah menghasilkan dampak positif, diperlukan peran aktif konsumen, kebijakan keberlanjutan yang lebih progresif, serta kolaborasi lintas sektor untuk memastikan transformasi yang lebih menyeluruh dan berkelanjutan.

### Tantangan dan Kritik

Robot Daisy dari Apple Inc. menunjukkan kemajuan signifikan dalam otomatisasi daur ulang elektronik. Namun, keberadaannya masih menghadapi berbagai tantangan yang membatasi skalabilitas dan efektivitasnya secara luas. Salah satu kritik utama adalah keterbatasan Daisy dalam menangani hanya satu jenis produk, yaitu iPhone. Sistem *disassembly* seperti Daisy yang bersifat *manufacturer-centric* memang unggul dalam efisiensi dan kecepatan, tetapi masih belum mampu menangani variasi struktur produk yang kompleks atau tak terduga di luar lingkup model yang sudah diketahui sebelumnya. Tingkat otomasi Daisy pun dinilai tinggi dari sisi mekanisasi (level 6), namun rendah dalam aspek komputerisasi (level 1), menunjukkan masih rendahnya kemampuan adaptif terhadap ketidakpastian struktur atau kondisi produk bekas (Foo et al., 2022).

Kritik kedua mendalami potensi praktik greenwashing, yaitu strategi pemasaran yang menekankan keberlanjutan tanpa perubahan sistemik yang signifikan. Menurut Hossain et al., e-waste merupakan ancaman besar terhadap pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan karena banyaknya bahan beracun dan kompleksitas daur ulang secara teknis, terutama di negara berkembang (Hossain et al., 2015). Dalam konteks ini, meskipun Daisy memberikan citra perusahaan ramah lingkungan, tetapi kontribusinya dalam menanggulangi e-waste secara global masih terbatas. Karena mengingat jumlah unit yang mampu diproses dan keterbatasan implementasi secara geografis. Tanpa adanya perluasan sistem dan integrasi lintas sektor serta negara, upaya daur ulang yang dilakukan Apple melalui Daisy berisiko lebih menonjolkan citra daripada substansi.

Selain itu, pendekatan teknologi seperti Daisy belum sepenuhnya mempertimbangkan hasil analisis Life Cycle Assessment (LCA) secara menyeluruh. Kopacek menyatakan bahwa sistem *disassembly* seharusnya tidak hanya fokus pada aspek teknis pembongkaran, tetapi juga memperhatikan strategi 4R: *Reduce*, *Reuse*, *Recycle*, dan *Recover*, yang harus dimulai sejak tahap desain produk (Kopacek, 2021). Tanpa pendekatan desain untuk daur ulang (*Design for Disassembly/DFD*), maka efisiensi robot *disassembly* seperti Daisy tidak akan mencapai potensi maksimalnya. Lebih jauh lagi, implementasi robot semacam ini membutuhkan investasi besar, ruang fisik, serta infrastruktur penunjang yang masih menjadi kendala di luar perusahaan-perusahaan besar seperti Apple. Untuk membentuk solusi berkelanjutan, diperlukan kombinasi implementasi teknologi terkini dengan biaya efektif serta kebijakan terpadu untuk menanggulangi isu *e-waste* (Quinto et al., 2025).

Quinto et al., (2025) menegaskan integrasi teknologi daur ulang yang efisien dan reformasi kebijakan yang sistemik, bukan pendekatan teknis semata. Secara praktis, industri perlu mengembangkan sistem daur ulang adaptif, skalabel, dan cost-effective supaya dapat diterapkan di berbagai konteks wilayah, termasuk wilayah berkembang. Evaluasi

efektivitas kombinasi kebijakan dan teknologi melalui pendekatan life cycle assessment (LCA) dan analisis dampak sosial-ekonomi guna memastikan solusi yang benar-benar komprehensif dan berkelanjutan.

## Simpulan

Robot Daisy dari Apple Inc. menjadi inovasi penting dalam upaya daur ulang elektronik berkelanjutan. Daisy mampu membongkar iPhone bekas dengan presisi tinggi, memulihkan material berharga seperti kobalt, emas, dan *rare earth* dengan kecepatan 200 unit per jam, jauh melampaui metode manual. Keberhasilan ini mendukung prinsip ekonomi sirkular dan berkontribusi pada target Apple untuk mencapai netralitas karbon, terlihat dari penurunan emisi gas rumah kaca sebesar 60% sejak 2015 berkat penggunaan material daur ulang dan energi bersih. Meskipun demikian, Daisy menghadapi tantangan signifikan. Keterbatasannya pada daur ulang iPhone saja membatasi skalabilitas globalnya untuk mengatasi masalah e-waste yang lebih luas. Ada kekhawatiran mengenai greenwashing, di mana kontribusi Daisy mungkin lebih menonjolkan citra daripada dampak substansi secara global, mengingat cakupan unit yang diproses dan implementasinya yang terbatas. Selain itu, teknologi ini belum sepenuhnya terintegrasi dengan pendekatan *Design for Disassembly* (DFD) dan memerlukan investasi besar, menunjukkan bahwa meskipun inovatif, Daisy masih memiliki batasan dalam mencapai solusi daur ulang yang komprehensif dan merata di seluruh industri.

## Referensi

- Ankit, Saha, L., Kumar, V., Tiwari, J., Sweta, Rawat, S., Singh, J., & Bauddh, K. (2021). Electronic waste and their leachates impact on human health and environment: Global ecological threat and management. *Environmental Technology & Innovation*, 24, 102049. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.102049>
- Apple Inc. (2024). *Environmental Progress Report 2024*. Apple Inc. [https://www.apple.com/environment/pdf/Apple\\_Environmental\\_Progress\\_Report\\_2024.pdf](https://www.apple.com/environment/pdf/Apple_Environmental_Progress_Report_2024.pdf)
- Beula, D., & Sureshkumar, M. (2021). A review on the toxic E-waste killing health and environment – Today's global scenario. *Materials Today: Proceedings*, 47, 2168–2174. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.516>
- Chatterjee, A. (2021, December 21). *Smartphones contribute to 12% of global e-waste, report says*. The Hindu. <https://www.thehindu.com/sci-tech/technology/smartphones-contribute-to-12-of-global-e-waste-report-says/article38004581.ece>
- Foo, G., Kara, S., & Pagnucco, M. (2022). Challenges of robotic disassembly in practice. *Procedia CIRP*, 105, 513–518. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.02.085>

- Forti, V., Baldé, C. P., Kuehr, R., & Bel, G. (2024). *The Global E-waste Monitor 2024*. International Telecommunication Union (ITU), United Nations Institute for Training and Research (UNITAR), United Nations University (UNU), International Solid Waste Association (ISWA). <https://www.itu.int/en/ITU-D/Environment/Pages/Publications/The-Global-E-waste-Monitor-2024.aspx>
- Goyal, S., & Gupta, S. (2024). A comprehensive review of current techniques, issues, and technological advancements in sustainable E-waste management. *E-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, 9, 100702. <https://doi.org/10.1016/j.prime.2024.100702>
- Hossain, Md. S., Al-Hamadani, S. M. Z. F., & Rahman, Md. T. (2015). E-waste: A Challenge for Sustainable Development. *Journal of Health and Pollution*, 5(9), 3–11. <https://doi.org/10.5696/2156-9614-5-9.3>
- Islam, M. T., Dias, P., & Huda, N. (2020). Waste mobile phones: A survey and analysis of the awareness, consumption and disposal behavior of consumers in Australia. *Journal of Environmental Management*, 275, 111111. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111111>
- Jackson, L. (2023). *Apple Environmental Progress Report 2023*. Apple Inc. [https://www.apple.com/environment/pdf/Apple\\_Environmental\\_Progress\\_Report\\_2023.pdf](https://www.apple.com/environment/pdf/Apple_Environmental_Progress_Report_2023.pdf)
- Jackson, L. & Apple Inc. (2018). *Apple adds Earth Day donations to trade-in and recycling program*. Apple Inc. <https://www.apple.com/newsroom/2018/04/apple-adds-earth-day-donations-to-trade-in-and-recycling-program/>
- Jain, M., Kumar, D., Chaudhary, J., Kumar, S., Sharma, S., & Singh Verma, A. (2023). Review on E-waste management and its impact on the environment and society. *Waste Management Bulletin*, 1(3), 34–44. <https://doi.org/10.1016/j.wmb.2023.06.004>
- Kopacek, P. (2021). Automatized Disassembly a Tool for saving the Environment. *IFAC-PapersOnLine*, 54(13), 408–412. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.10.482>
- Laser, S., & Stowell, A. (2020). Thinking like Apple's recycling robots: Towards the activation of responsibility in a post-environmentalist world. *Ephemera: Theory & Politics in Organization*, 20(4), 163–194.
- Quinto, S., Law, N., Fletcher, C., Le, J., Antony Jose, S., & Menezes, P. L. (2025). Exploring the E-Waste Crisis: Strategies for Sustainable Recycling and Circular Economy Integration. *Recycling*, 10(2), 72. <https://doi.org/10.3390/recycling10020072>
- Saenz, J., Felsch, T., Walter, C., König, T., Poenicke, O., Bayrhammer, E., Vorbröcker, M., Berndt, D., Elkmann, N., & Arlinghaus, J. (2024). Automated disassembly of e-

---

waste—Requirements on modeling of processes and product states. *Frontiers in Robotics and AI*, 11. <https://doi.org/10.3389/frobt.2024.1303279>

Shahabuddin, M., Uddin, M. N., Chowdhury, J. I., Ahmed, S. F., Uddin, M. N., Mofijur, M., & Uddin, M. A. (2023). A review of the recent development, challenges, and opportunities of electronic waste (e-waste). *International Journal of Environmental Science and Technology*, 20(4), 4513–4520. <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04274-w>

Talpalaru, A. E., Gavrilesu, D., & Teodosiu, C. (2025). End of Life Management Sustainability of Waste Electrical and Electronic Equipment Generated in Romania. *Sustainability*, 17(9), 4105. <https://doi.org/10.3390/su17094105>