



Edukasi Teknologi *Smart Recycling ATM* Sampah Botol Plastik Berbasis Aplikasi Tabungan Anak untuk Mendorong Ekonomi Sirkular di Sekolah

Deasy Rosanti Nurjannah¹, Iwan Kustiawan², Saripudin³

Program Studi Teknik Otomasi dan Industri, Politeknik TEDC Bandung^{1,3}

Program Studi Teknik Elektro, Universitas Pendidikan Indonesia²

e-mail: deasy@poltektedc.ac.id

Abstrak

Pengelolaan sampah plastik di sekolah masih menjadi salah satu tantangan besar, khususnya dalam meningkatkan kesadaran serta budaya siswa tentang pentingnya memilah dan mendaur ulang sampah. Tujuan kegiatan ini adalah mengembangkan dan mengimplementasikan *Smart Recycling ATM* di Sekolah Al-Lathif Islamic School Bandung, yang memungkinkan siswa menukarkan botol plastik menjadi saldo tabungan digital melalui aplikasi *EcoCash*. Metode yang digunakan adalah pendekatan partisipatoris dengan melibatkan guru dan siswa dalam setiap tahap kegiatan, mulai dari pemetaan kebutuhan, instalasi alat, sosialisasi, pendampingan, hingga evaluasi. Hasil kegiatan menunjukkan bahwa program ini berhasil mengurangi volume sampah plastik hingga 40% dalam bulan pertama. Selain itu, 72% siswa aktif menggunakan aplikasi tabungan untuk memantau hasil *setor botol* plastik mereka. Program ini juga meningkatkan pemahaman siswa tentang konsep daur ulang botol plastik menjadi bahan filamen cetak 3D dan ekonomi sirkular di sekolah. Dengan demikian, penggunaan teknologi dalam pendidikan lingkungan dapat memberikan dampak positif dalam membentuk kesadaran ekologis dan finansial pada anak-anak sejak dini.

Kata Kunci: *Daur Ulang, Tabungan Digital, Pendidikan Lingkungan, Ekonomi Sirkular.*

Abstract

Plastic waste management in schools remains a major challenge, particularly in improving students' awareness and habits regarding waste sorting and recycling. This community engagement program aimed to develop and implement a *Smart Recycling ATM* at Al-Lathif Islamic School Bandung, enabling students to exchange plastic bottles for digital savings balances through the *EcoCash* application. A participatory approach was applied by involving teachers and students in each stage of the program, including *needs assessment*, device installation, socialization, mentoring, and evaluation. The results showed that the program reduced plastic waste volume by 40% in the first month. In addition, 72% of students actively used the savings application to monitor their plastic bottle deposits. The program also improved students' understanding of plastic-bottle recycling into 3D-printing filament and the circular economy in the school context. Therefore, technology-based environmental education can contribute positively to fostering ecological and financial awareness among children from an early age.

Kata Kunci: *Recycling, Digital Savings, Environmental Education, Circular Economy.*

PENDAHULUAN

Pengelolaan sampah plastik di lingkungan sekolah menjadi isu penting karena perilaku konsumsi minuman kemasan sekali pakai berkontribusi terhadap timbunan sampah yang perlu dipilah sejak dari sumber. Secara global, persoalan plastik menunjukkan kecenderungan yang serius: sebagian besar plastik yang telah diproduksi berakhir sebagai limbah, sedangkan kebocoran sampah plastik ke lingkungan masih memerlukan intervensi sistemik melalui pengurangan, pemilahan, pengumpulan, dan daur ulang (Jambeck et al., 2015; Geyer et al., 2017; Borrelle et al., 2020; Lau et al., 2020). Dalam konteks sekolah dasar, kebiasaan memilah botol plastik belum selalu terbentuk karena keterbatasan sarana, rendahnya insentif, dan belum terintegrasinya kegiatan daur ulang dengan pengalaman belajar siswa.

Perkembangan perangkat digital membuka peluang untuk membuat pendidikan lingkungan lebih kontekstual, interaktif, dan dekat dengan keseharian siswa. Pemanfaatan teknologi dalam pendidikan lingkungan terbukti dapat meningkatkan minat, partisipasi, dan kesadaran keberlanjutan, terutama ketika siswa dilibatkan dalam aktivitas nyata, visual, serta mudah dipantau (Sapar et al., 2019; Buchanan et al., 2019; Hajj-Hassan et al., 2024). Oleh karena itu, pendekatan edukasi lingkungan di sekolah perlu diarahkan tidak hanya pada penyampaian materi, tetapi juga pada pembentukan perilaku melalui pengalaman langsung.

Salah satu pendekatan yang dapat diterapkan adalah pengembangan *Smart Recycling ATM*, yaitu mesin *setor botol* plastik yang mengonversi sampah menjadi saldo tabungan digital pada aplikasi *EcoCash*. Konsep ini sejalan dengan pengembangan bank sampah sekolah yang menghubungkan perilaku memilah sampah dengan pencatatan nilai ekonomi secara lebih transparan dan mudah dipahami anak (Rahim et al., 2020; Ediana et al., 2021; Betricia, 2025). Selain itu, prinsip *reverse vending machine* telah dikembangkan untuk mendorong partisipasi daur ulang melalui deteksi botol, penimbangan, serta pemberian insentif kepada pengguna (Gaddipati et al., 2024).

Program ini juga mengaitkan kegiatan *setor botol* dengan konsep ekonomi sirkular, yaitu pemanfaatan kembali sumber daya agar nilai material tidak berhenti pada pola pakai-buang. Dalam konteks plastik, ekonomi sirkular menekankan reduksi, penggunaan kembali, daur ulang, dan penciptaan nilai baru dari material pascakonsumsi (Ellen MacArthur Foundation, 2024; Setyawan et al., 2024). Pemanfaatan botol PET menjadi filamen 3D juga didukung oleh penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa limbah termoplastik, termasuk PET daur ulang, berpotensi menjadi bahan baku pencetakan 3D setelah melalui proses pemilahan, pencacahan, ekstrusi, dan pengendalian kualitas material (Zander et al., 2018; Cruz Sanchez et al., 2020; Mikula et al., 2021; Oussai et al., 2021).

Berdasarkan permasalahan dan rencana pemecahan masalah yang telah dijelaskan, tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengembangkan dan mengimplementasikan Smart Recycling ATM di

Sekolah Al-Lathif Islamic School Bandung sebagai sarana edukasi dan pengelolaan sampah plastik.

2. Mengukur pengaruh penggunaan Smart Recycling ATM terhadap peningkatan kesadaran dan keterlibatan siswa dalam kegiatan daur ulang sampah plastik.
3. Mengidentifikasi potensi tabungan digital sebagai insentif untuk meningkatkan partisipasi siswa dalam proses pengelolaan sampah di sekolah.

Dengan demikian, integrasi mesin *setor botol*, aplikasi tabungan anak, dan pemanfaatan ulang PET menjadi filamen 3D diharapkan mampu membangun pengalaman belajar yang menggabungkan literasi lingkungan, literasi finansial, dan praktik ekonomi sirkular. Model ini menempatkan siswa bukan hanya sebagai penerima materi, tetapi juga sebagai pelaku perubahan perilaku melalui kegiatan memilah, menyeter, memantau saldo, dan melihat hasil daur ulang menjadi produk edukatif.

Harapan dari kegiatan pemberdayaan kemitraan ini adalah untuk memberikan solusi inovatif terhadap permasalahan sampah plastik di sekolah, serta membuka peluang untuk meningkatkan pemahaman dan kesadaran lingkungan pada generasi muda melalui pendekatan berbasis teknologi. Manfaat jangka panjang dari program ini adalah untuk menciptakan lingkungan sekolah yang lebih bersih dan sehat, serta membentuk karakter siswa yang peduli terhadap kelestarian lingkungan dan memiliki pengetahuan tentang pentingnya ekonomi sirkular.

METODE

Pelaksanaan program Teknologi *Smart Recycling ATM* Sampah Botol Plastik Berbasis Aplikasi Tabungan Anak untuk Mendorong Ekonomi Sirkular di Sekolah menggunakan pendekatan pengabdian kepada masyarakat berbasis partisipasi dengan menempatkan sekolah, keluarga, dan pusat belajar masyarakat sebagai mitra utama dalam perancangan sekaligus pemanfaatan teknologi. Pendekatan ini dipilih karena kebutuhan siswa dan guru di lapangan tidak dapat sepenuhnya dijawab oleh solusi teknologi yang dirancang secara top-down, tetapi menuntut proses ko-desain, uji coba, dan penyempurnaan yang terus-menerus bersama pengguna.

Lokasi dan Peserta Kegiatan

Kegiatan pemberdayaan kemitraan ini menggunakan pendekatan partisipatoris, di mana peneliti terlibat langsung dalam setiap tahap implementasi program di Sekolah Al-Lathif Islamic School Bandung. Tujuan kegiatan ini adalah mengembangkan dan menguji penerapan *Smart Recycling ATM* sebagai alat untuk meningkatkan kesadaran lingkungan dan mengajarkan konsep ekonomi sirkular kepada siswa.

Desain Program dan Perangkat Teknologi

Rancangan program menggabungkan tiga komponen utama:

1. Teknologi *Smart Recycling ATM* sebagai media setor sampah plastik dan pencatatan data secara otomatis.
2. Aplikasi Tabungan Anak sebagai media visualisasi saldo dan riwayat transaksi yang mudah diakses oleh siswa dan orang tua.
3. Modul edukasi lingkungan dan ekonomi sirkular, yang disisipkan dalam kegiatan kelas dan sesi khusus sosialisasi.

Model pemberdayaan yang digunakan bersifat deskriptif-kuantitatif, dengan menekankan pengukuran perubahan perilaku dan pemahaman siswa sebelum dan sesudah intervensi melalui *pre-test* dan *post-test* serta analisis log transaksi mesin dan aplikasi.

Perangkat Teknologi

1. *Smart Recycling ATM*

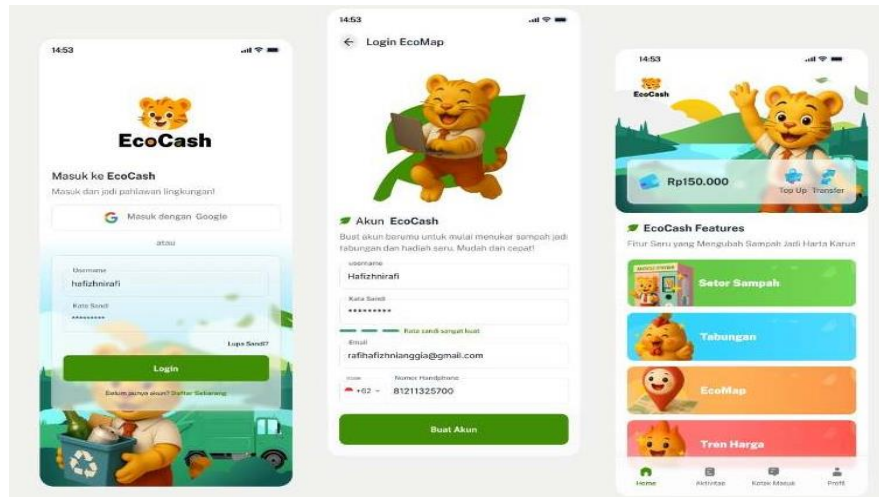
Mesin dirancang sebagai unit *reverse vending machine* berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dilengkapi dengan sensor optik dan *IR proximity* untuk mendeteksi keberadaan botol plastik, *load cell* untuk menimbang berat botol, *controller* mikrokontroler untuk mengirimkan data ke *server*, *conveyor* dengan penggerak motor DC untuk memindahkan botol ke wadah penyimpanan, serta layar *Human Machine Interface* (HMI) untuk menampilkan identitas pengguna dan saldo terkini (Gambar 1).



Gambar 1. Tampilan Layar *Human Machine Interface* (HMI) pada Mesin *SMART EcoCash*

2. Aplikasi Tabungan Anak - *EcoCash*

Aplikasi berbasis *Android* dikembangkan untuk menampilkan saldo, riwayat transaksi *setor botol* plastik, serta informasi sederhana mengenai dampak lingkungan dari setiap transaksi, misalnya estimasi pengurangan volume sampah. Siswa dapat masuk menggunakan akun pribadi yang dikaitkan dengan kartu atau ID yang digunakan saat mengoperasikan mesin (Gambar 2).



Gambar 2. Aplikasi Tabungan Anak – EcoCash

3. Peralatan Daur Ulang Lanjutan

Untuk memproses botol PET menjadi filamen 3D, digunakan rangkaian alat yang terdiri atas *shredder* untuk mencacah botol, *washing-drying unit* sederhana, serta ekstruder filamen 3D yang menghasilkan gulungan filamen siap cetak (Gambar 3-4). Filamen kemudian digunakan pada *3D printer* di laboratorium kampus untuk membuat alat peraga yang relevan dengan materi pelajaran.

Tahapan Pelaksanaan Kegiatan

Pelaksanaan program disusun dalam beberapa tahap berurutan:

1. Pemetaan kebutuhan (*needs assessment*)
 - Wawancara semi-terstruktur dengan kepala sekolah dan guru untuk mengidentifikasi pola konsumsi minuman kemasan, kebiasaan siswa dalam membuang sampah, serta kesiapan sekolah terhadap penggunaan perangkat digital.
 - Observasi lokasi penempatan mesin, alur pergerakan siswa, dan fasilitas penunjang seperti jaringan listrik dan internet.
2. Perancangan dan instalasi sistem
 - Penyesuaian desain fisik *Smart Recycling ATM* agar aman dan ramah anak.
 - Pengujian awal sistem sensor, timbangan, dan koneksi data antara mesin dengan *server* aplikasi.
 - Instalasi mesin di area yang mudah diakses siswa (dekat kantin atau area istirahat).
3. Sosialisasi dan pelatihan
 - Sosialisasi kepada seluruh siswa dan guru mengenai cara kerja mesin, prosedur setor botol, dan mekanisme konversi botol menjadi saldo tabungan.
 - Pelatihan singkat penggunaan aplikasi *EcoCash* bagi siswa dan guru pendamping, termasuk cara melihat saldo, riwayat transaksi, dan fitur edukatif pada aplikasi.

4. Implementasi program dan pendampingan
 - Siswa didorong membawa dan menyetorkan botol plastik bekas konsumsi mereka ke mesin setiap hari.
 - Tim pengabdian dan guru melakukan pendampingan terutama pada minggu-minggu awal untuk memastikan prosedur dijalankan dengan benar.
5. Daur ulang lanjutan menjadi filamen 3D
 - Botol PET yang terkumpul ditimbang total, kemudian diproses melalui *shredder* dan ekstruder filamen.
 - Filamen yang dihasilkan diuji pada *3D printer* untuk mencetak beberapa objek edukatif, misalnya model geometri dan miniatur peralatan daur ulang.
6. Evaluasi dan refleksi partisipatif
 - Pengisian kuesioner *pre-test* dan *post-test* untuk mengukur pengetahuan dan sikap siswa terkait daur ulang dan ekonomi sirkular.
 - Diskusi reflektif dengan guru mengenai perubahan perilaku siswa, kendala teknis, dan peluang pengembangan program.

Teknik Pengumpulan Data dan Evaluasi

Populasi dan sampel dalam penelitian ini adalah seluruh siswa kelas 4 hingga 6 di Sekolah Al-Lathif Islamic School Bandung, dengan sampel sebanyak 100 siswa yang dipilih secara acak. Selain itu, kegiatan ini juga melibatkan guru dan pihak sekolah sebagai subjek yang memberikan dukungan dalam implementasi program. Teknik pengumpulan data yang digunakan meliputi observasi langsung terhadap penggunaan mesin, wawancara semi-terstruktur dengan guru dan siswa, serta kuesioner untuk mengukur perubahan kesadaran lingkungan siswa sebelum dan sesudah program. Instrumen penelitian yang digunakan meliputi lembar observasi, kuesioner *pre-test* dan *post-test*, serta *log transaksi* dari aplikasi tabungan digital yang diintegrasikan dengan mesin.

Analisis Data dilakukan dengan teknik analisis deskriptif kuantitatif untuk mengukur perubahan perilaku siswa dalam memilah sampah dan tingkat partisipasi mereka dalam kegiatan daur ulang. Data dari kuesioner dianalisis menggunakan skala Likert untuk mengukur tingkat pengetahuan dan kesadaran siswa terhadap isu lingkungan dan sampah plastik. Selain itu, analisis data transaksi digital dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas penggunaan mesin dalam meningkatkan partisipasi siswa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Salah satu inovasi utama dari program ini adalah konversi botol plastik yang disetorkan oleh siswa melalui *Smart Recycling ATM* menjadi bahan filamen cetak 3D. Proses daur ulang dilakukan dengan menggunakan *shredder* untuk mencacah botol plastik menjadi serpihan kecil, yang kemudian diproses lebih lanjut menjadi filamen 3D melalui ekstruder filamen. Jalur pemanfaatan PET pascakonsumsi menjadi bahan cetak 3D telah banyak dibahas sebagai strategi peningkatan nilai material plastik dalam kerangka ekonomi sirkular (Zander et al.,

2018; Cruz Sanchez et al., 2020; Oussai et al., 2021). Hasil kegiatan menunjukkan bahwa botol plastik PET dapat diubah menjadi filamen 3D dengan kualitas yang cukup baik dan selanjutnya digunakan untuk mencetak berbagai objek edukatif, seperti model belajar, alat peraga, serta prototipe kecil yang berguna dalam pembelajaran di kelas. Data yang diperoleh menunjukkan bahwa 95% dari filamen yang dihasilkan dapat digunakan untuk keperluan cetak 3D di kelas tanpa masalah signifikan.

Filamen 3D yang dihasilkan dari botol plastik tidak hanya memberikan manfaat dari sisi lingkungan, tetapi juga digunakan sebagai bahan ajar dalam kegiatan belajar mengajar. Misalnya, siswa dapat mencetak model struktur molekul, bentuk geometri, atau replika alat daur ulang untuk memahami konsep fisika, kimia, dan lingkungan secara langsung. Dalam pengamatan selama dua bulan, guru-guru di Sekolah Al-Lathif mengaplikasikan filamen 3D ini dalam berbagai kegiatan kelas. Hasilnya, siswa menunjukkan peningkatan keterlibatan dalam kegiatan belajar yang melibatkan bahan ajar berbasis teknologi. Pembelajaran dengan alat peraga cetak 3D dinilai lebih menarik dan mudah dipahami oleh siswa, terutama pada topik yang melibatkan bentuk atau struktur yang rumit. Temuan ini sejalan dengan kajian pendidikan lingkungan digital yang menekankan pentingnya pengalaman belajar visual, partisipatif, dan kontekstual (Buchanan et al., 2019; Hajj-Hassan et al., 2024).

Selain manfaat edukatif, penggunaan filamen 3D yang dihasilkan dari sampah plastik juga berhasil menumbuhkan kesadaran lingkungan di kalangan siswa. Berdasarkan pengukuran melalui survei sebelum dan setelah kegiatan, terdapat peningkatan sebesar 30% dalam pemahaman siswa mengenai konsep ekonomi sirkular dan pentingnya daur ulang plastik. Siswa merasa lebih termotivasi untuk terlibat dalam kegiatan daur ulang karena mereka melihat langsung hasil dari usaha mereka, yaitu botol plastik yang didaur ulang menjadi produk yang berguna dan bernilai. Temuan ini dapat dikaitkan dengan teori ekonomi sirkular yang mengedepankan pemanfaatan kembali sumber daya untuk mengurangi sampah. Teknologi daur ulang botol plastik menjadi filamen 3D memberikan gambaran nyata bagaimana sampah plastik dapat dimanfaatkan kembali untuk produk yang berguna, yang mendukung prinsip bahwa sumber daya dapat diputar kembali dalam siklus produksi yang berkelanjutan (Ellen MacArthur Foundation, 2024; Setyawan et al., 2024; Mikula et al., 2021).

Selain itu, penggabungan teknologi dalam pendidikan berbasis filamen 3D memberikan dimensi baru dalam pembelajaran yang lebih interaktif dan mendalam. Integrasi perangkat digital, media visual, dan aktivitas praktik dalam pendidikan lingkungan dapat meningkatkan pemahaman, minat belajar, dan kreativitas siswa dalam menggunakan sumber daya yang tersedia (Sapar et al., 2019; Buchanan et al., 2019; Hajj-Hassan et al., 2024). Meskipun hasilnya positif, terdapat beberapa tantangan dalam implementasi penggunaan filamen 3D di kelas. Salah satu kendala utama adalah keterbatasan alat cetak 3D di beberapa sekolah. Untuk mengatasi hal ini, kerja sama dengan komunitas *maker* atau

laboratorium universitas yang memiliki fasilitas printer 3D perlu diperkuat, disertai pelatihan tambahan bagi guru agar penggunaan teknologi ini dalam pembelajaran dapat lebih optimal.

Tabel 1. Perbandingan Kualitas Filamen 3D dari Botol Plastik PET

Parameter	Filamen 3D (PET)	Filamen Komersial (PLA)
Kekuatan Tarik	45 MPa	50 MPa
Ketahanan Suhu	75°C	60°C
Fleksibilitas	Sedang	Tinggi
Penggunaan	Model edukasi	Pembuatan objek komersial



Gambar 3. Proses Pembuatan 3D dari Botol Plastik



Gambar 4. Proses Pembuatan Filamen dari Botol Plastik

(Gambar menunjukkan peralatan yang digunakan untuk mengubah botol plastik menjadi filamen 3D yang dapat digunakan untuk mencetak objek di kelas).

Dengan pembahasan ini, *Smart Recycling ATM* tidak hanya menjadi solusi untuk pengelolaan sampah plastik di sekolah, tetapi juga memberikan dampak positif pada pendidikan berbasis teknologi yang meningkatkan keterlibatan siswa dalam pembelajaran lingkungan dan pengelolaan sumber daya.

SIMPULAN

Kegiatan ini berhasil mengembangkan dan mengimplementasikan *Smart Recycling ATM* sebagai sarana edukasi dan pengelolaan sampah plastik di Sekolah Al-Lathif Islamic School Bandung. Berdasarkan hasil pengamatan dan analisis, penggunaan *Smart Recycling ATM* berhasil mengurangi volume sampah plastik hingga 40% dalam bulan pertama implementasi. Selain itu, 72% siswa aktif memanfaatkan aplikasi tabungan digital untuk memantau hasil daur ulang mereka, yang menunjukkan keterlibatan tinggi dalam kegiatan ini. Selain bermanfaat dalam pengelolaan sampah, penelitian ini juga menunjukkan bahwa pendekatan berbasis teknologi mampu meningkatkan kesadaran lingkungan dan

literasi finansial siswa. Konversi sampah plastik menjadi filamen 3D yang digunakan sebagai alat peraga di kelas menunjukkan potensi besar dalam mengintegrasikan konsep ekonomi sirkular dengan pendidikan berbasis teknologi. Program ini juga memberikan dampak positif pada pemahaman siswa tentang pentingnya keberlanjutan lingkungan dan pengelolaan sumber daya. Secara keseluruhan, kegiatan ini mengarah pada pengembangan lebih lanjut agar dapat diterapkan di sekolah-sekolah lain sebagai bagian dari pendidikan lingkungan yang lebih interaktif dan aplikatif. Salah satu tindak lanjut yang diperlukan adalah pengembangan mode *offline* pada aplikasi untuk mengatasi keterbatasan akses internet di beberapa sekolah. Dengan demikian, program ini memiliki potensi besar untuk memperluas dampak positif dalam membentuk generasi yang lebih peduli terhadap lingkungan dan memiliki kemampuan finansial yang berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Betricia, K. Y. (2025). Sampah jadi tabungan: Berevolusi menjadi inovasi bank sampah di sekolah dasar. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/391230173_Sampah_jadi_Tabungan_Berevolusi_menjadi_Inovasi_Bank_Sampah_di_Sekolah_Dasar
- Borrelle, S. B., Ringma, J., Law, K. L., Monnahan, C. C., Lebreton, L., McGivern, A., Murphy, E., Jambeck, J., Leonard, G. H., Hilleary, M. A., Eriksen, M., Possingham, H. P., De Frond, H., Gerber, L. R., Polidoro, B., Tahir, A., Bernard, M., Mallos, N., Barnes, M., & Rochman, C. M. (2020). Predicted growth in plastic waste exceeds efforts to mitigate plastic pollution. *Science*, 369(6510), 1515-1518. <https://doi.org/10.1126/science.aba3656>
- Buchanan, J., Pressick-Kilborn, K., & Maher, D. (2019). Promoting environmental education for primary school-aged students using digital technologies. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 15(2), em1661. <https://doi.org/10.29333/ejmste/100639>
- Cruz Sanchez, F. A., Boudaoud, H., Camargo, M., & Pearce, J. M. (2020). Plastic recycling in additive manufacturing: A systematic literature review and opportunities for the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 264, 121602. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121602>
- Ediana, D., Bangun, H. A., & Tamba, Y. M. (2021). Aplikasi pengelolaan tabungan bank sampah siswa SD N 06 Pulai berbasis desktop. *Human Care Journal*, 6(2), 264-273.
- Ellen MacArthur Foundation. (2024). The circular economy: Overview. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>
- Gaddipati, M. V., Karthik, G., & Megalingam, R. K. (2024). FPGA-based reverse vending plastic recycling machine. 2024 4th Asian Conference on Innovation in Technology (ASIANCON). <https://doi.org/10.1109/asiancon62057.2024.10837894>
- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), e1700782. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>

- Hajj-Hassan, M., Chaker, R., & Cederqvist, A.-M. (2024). Environmental education: A systematic review on the use of digital tools for fostering sustainability awareness. *Sustainability*, 16(9), 3733. <https://doi.org/10.3390/su16093733>
- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., & Law, K. L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768-771. <https://doi.org/10.1126/science.1260352>
- Lau, W. W. Y., Shiran, Y., Bailey, R. M., Cook, E., Stuchtey, M. R., Koskella, J., Velis, C. A., Godfrey, L., Boucher, J., Murphy, M. B., Thompson, R. C., Jankowska, E., Castillo Castillo, A., Pilditch, T. D., Dixon, B., Koerselman, L., Kosior, E., Favoino, E., Gutberlet, J., et al. (2020). Evaluating scenarios toward zero plastic pollution. *Science*, 369(6510), 1455-1461. <https://doi.org/10.1126/science.aba9475>
- Mikula, K., Skrzypczak, D., Izydorczyk, G., Warchol, J., Moustakas, K., Chojnacka, K., & Witek-Krowiak, A. (2021). 3D printing filament as a second life of waste plastics-a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(10), 12321-12333. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10657-8>
- Oussai, A., Bartfai, Z., & Katai, L. (2021). Development of 3D printing raw materials from plastic waste. A case study on recycled polyethylene terephthalate. *Applied Sciences*, 11(16), 7338. <https://doi.org/10.3390/app11167338>
- Rahim, A., Ibrahim, I., & Mansyur, N. I. (2020). Pemanfaatan sampah rumah tangga berbasis pengelolaan bank sampah di sekolah. *J-ABDIPAMAS (Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat)*, 4(1), 37-44. <https://doi.org/10.30734/j-abdipamas.v4i1.881>
- Sapar, Alfian, A., Isriami, Herdjiono, M. V. I., & Jusni. (2019). The application of documentary film in improving student interest: An alternative for environmental education. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 343(1), 012156. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/343/1/012156>
- Setyawan, F. O., Yona, D., Rahman, M. A., Firdaus, N., & Risqi, M. A. (2024). Penerapan konsep ekonomi sirkular dalam pengelolaan sampah untuk menunjang green economy di Desa Nelayan Kondangmerak, Kabupaten Malang. *Jurnal Pengabdian Masyarakat (ABDIRA)*, 4(1), 1-9. <https://doi.org/10.31004/abdira.v4i1.410>
- Zander, N. E., Gillan, M., & Lambeth, R. H. (2018). Recycled polyethylene terephthalate as a new FFF feedstock material. *Additive Manufacturing*, 21, 174-182. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.03.007>