

Pengolahan Sampah Tutup Botol Plastik Menggunakan Mesin Cacah di Pesantren Daarul-'Ulum Bogor

Sally Cahyati*¹, Annisa Bhikuning², Daisman PB Aji³, Astari Minarti⁴

^{1,2,3}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Industri, Universitas Trisakti, Indonesia

⁴Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Arsitektur Lanskap dan Teknik Lingkungan, Universitas Trisakti, Indonesia

*e-mail: sally@trisakti.ac.id¹, annisabhi@trisakti.ac.id², daisman.aji@trisakti.ac.id³, astari.minarti@trisakti.ac.id⁴

Abstrak

Penutupan sejumlah TPA memberikan pelajaran bahwa persoalan sampah merupakan tanggung jawab bersama yang membutuhkan solusi nyata. Salah satu alternatif yang dapat diterapkan adalah pengolahan sampah berbasis zonasi, yaitu mengolah sampah langsung di sumbernya dengan prinsip 3R sehingga tercapai kondisi zero waste tanpa harus membuang ke TPA. Jumlah pesantren di Indonesia yang mencapai 39.043 dan para santri yang tinggal di dalamnya menjadikan pesantren adalah tempat strategis untuk memulai edukasi pengelolaan sampah zonasi secara mandiri. Pelatihan PkM "Pengolahan Sampah Tutup Botol Plastik Menggunakan Mesin Cacah" ini dilakukan di lingkungan Pesantren Daarul-'Ulum Bogor. Pelatihan dilakukan menggunakan metode ceramah dan praktek dengan pengukuran pencapaiannya dilihat dari hasil pretest dan post test. Sebelum dilakukannya pelatihan umumnya sampah plastik botol maupun tutupnya dijual dikumpulkan dan dijual langsung dengan harga murah. Pengumpulannya memerlukan tempat yang luas dan kurang rapih. Setelah pelatihan, sampah dicacah terlebih dulu dengan mesin cacah, kemudian di kemas, baru dijual dengan harga yang lebih tinggi. Sampah cacahan dengan jumlah yang lebih banyak dapat dikumpulkan pada tempat yang lebih sedikit dan rapih. Manfaat yang diperoleh dengan pelatihan ini adalah selain lingkungan pesantren terjaga kebersihannya, guru dan santri dapat menularkan kebiasaan pengelolaan sampah ini ke masyarakat lingkungannya dan diperoleh manfaat ekonomis lebih besar dari hasil penjualannya.

Kata kunci: pelatihan, pengolahan sampah, tutup botol plastik, mesin cacah, pesantren

Abstract

The closure of several landfills has taught us that waste management is a shared responsibility that requires concrete solutions. One alternative that can be applied is zonal-based waste management, which processes waste directly at its source using the 3R principles to achieve zero waste without requiring landfill disposal. With 39,043 Islamic boarding schools (pesantren) in Indonesia and students residing within them, pesantren are strategic places to start educating about self-managed zonal waste processing. The community service training (PkM) entitled "Plastic Bottle Cap Waste Processing Using a Shredding Machine" was carried out at Pesantren Daarul-'Ulum Bogor. The training was conducted using lectures and practical exercises, with achievement measured through pre-test and post-test results. Before the training, plastic bottle waste and their caps were generally collected and sold directly at low prices. The collection required ample storage space and looked untidy. After the training, the waste was shredded first using a shredding machine, then packaged, and sold at a higher price. Shredded waste, which can be collected in larger quantities, only requires smaller and neater storage space. The benefits of this training include not only maintaining the cleanliness of the pesantren environment but also enabling teachers and students to pass on waste management habits to the surrounding community, while gaining greater economic value from the processed waste.

Keywords: training, waste management, plastic closure, shredding machine, boarding school

1. PENDAHULUAN

Pesantren Daarul 'Ulum yang terletak di Lido Bogor Jawa Barat dengan luas area tanah 9,75 hektar, memiliki lebih dari 2000 santri yang mondok. Pesantren Daarul Ulum yang terletak di Lido ini adalah kampus 1 dan 3 sedangkan kampus 2 terletak diluar kawasan Lido. Kampus 1 merupakan pesantren modern dan kampus 3 yang khusus bagi santri penghafal Al Quran /Tahfizh. Santri yang mondok mencapai jumlah ribuan memiliki potensi untuk menghasilkan sampah dalam jumlah yang cukup besar mencapai 5 ton/hari. Oleh karena Kampus 1 belum

mempunyai pengelolaan dan pengolahan sampah yang baik, maka setiap dua hari sekali, sampah sebanyak 10 ton akan diangkut untuk dibuang ke TPA Cimenteng yang berada di Sukabumi. Hal ini dipilih karena TPA Galuga di Bogor sudah cukup penuh, sedangkan pesantren berada di Lido yang terletak diantara dua kota yaitu Bogor dan Sukabumi. Mengingat jarak yang jauh dan regulasi TPA setempat maka pembuangan sampah ke TPA Cimenteng ini menghabiskan biaya yang cukup besar belasan sampah puluhan juta per bulannya. Timbulan sampah di kampus 3 lebih sedikit, setiap harinya mencapai 1.5 ton, namun para guru dan santri sudah melakukan pengolahan sampah organik secara swadaya dengan cara melakukan budi daya maggot untuk pakan ternak dan kompos untuk taman dan kebun. Hasilnya peternakan berupa telur ayam, bebek, dan ikan sudah dapat dipanen secara kontinu dan digunakan untuk sumber pangan di pesantren.



Gambar 1. Pesantren Daarul Ulum Cigombong Lido Bogor

Walaupun pesantren dikelola oleh yayasan yang sama, namun ternyata kampus 1 dan kampus 3 mempunyai permasalahan yang berbeda, yaitu sebagai berikut:

1. Kegiatan PKM di Pesantren Daarul Ulum kampus 1 Lido Bogor menghadapi sejumlah tantangan yang saling terkait, termasuk rendahnya kesadaran dan edukasi lingkungan di kalangan santri, keterbatasan infrastruktur untuk pengumpulan dan pengolahan, serta minimnya partisipasi komunitas dalam program tersebut. Pengelolaan sampah menjadi bernilai hampir tidak ada disini. Sampah yang terkumpul selama dua hari sebanyak 10 ton dan langsung diangkut oleh truk dibuang ke TPA Cimenteng di Sukabumi. /hal ini menimbulkan biaya cukup besar untuk pembuangan sampah ke TPA bisa sampai mencapai belasan sampai puluhan juta rupiah perbulannya.
2. Adapun di kampus 3 yang terletak di seberangnya, secara umum sudah mempunyai pengelolaan dan pengolahan sampah secara mandiri. Sampah dikumpulkan dan kemudian dipilah antara sampah an organik yaitu sampah plastik dan sampah kertas, serta sampah organik yaitu sisa makanan dan sampah daun. Sampah organik sesudah dipilah akan dijadikan pakan ternak (ayam, bebek, ikan) dan kompos, sehingga sampah yang masih perlu dicarikan solusinya adalah yang terkait dengan pengolahan sampah an organik plastik dan kertas. Timbulan sampah plastik dan sampah kertas di pesantren juga cukup banyak, saat ini sampah tersebut hanya dengan dikumpulkan dan dijual ke pengepul langsung dengan harga murah. Padahal sampah botol plastik yang dikumpulkan membutuhkan tempat yang luas untuk penyimpanannya dan tidak dapat disusun rapih.

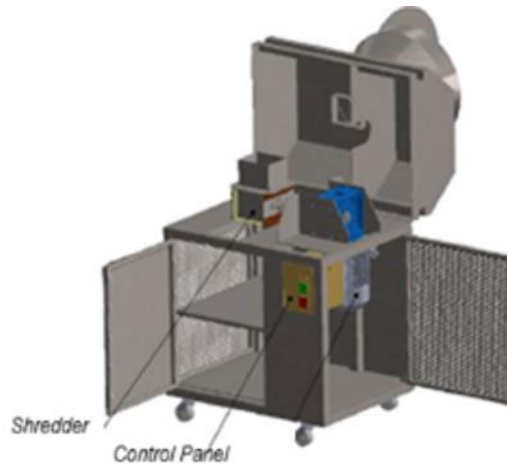
Pesantren di kampus 3 mempunyai tujuan untuk meningkatkan pengolahan sampah plastik tersebut menjadi produk yang lebih bernilai ekonomis, namun belum menguasai teknologinya dan tidak mempunyai mesin pengolahnya. Kegiatan PKM ini mencari solusinya dengan memberikan pelatihan dan pendampingan bagi para guru dan santri pengelola sampah dengan membangun teknologi tepat guna mesin cacah plastik sederhana yang dapat ditiru dan dibuat ulang untuk diperbanyak yang dapat digunakan untuk mencacah botol dan tutup plastik, sehingga dapat dijual dengan harga yang lebih tinggi, dan dapat dikumpulkan dalam karung-karung yang tersusun rapih pada tempat yang tidak terlalu luas. Tujuan ini selaras dengan tujuan akademisi untuk melaksanakan Tridarma Perguruan Tinggi dan mencapai target capaian IKU.

Tujuan dari PKM ini dalam memenuhi target capaian Indikator Kinerja Utama (IKU) 2, 3, dan 5. Dalam IKU 2, yaitu mahasiswa memperoleh pengalaman di luar kampus dengan berinteraksi langsung dengan komunitas pesantren sebagai instruktur, melatih keterampilan komunikasi dan problem solving mereka dalam lingkungan yang berbeda. Sementara itu, IKU 3 mendorong dosen untuk berkegiatan di luar kampus, dengan cara memberikan bimbingan kepada guru dan santri, serta menjalin kemitraan dengan pesantren dalam pengelolaan sampah plastik. Dosen dapat berkontribusi langsung di masyarakat, mendukung penyebaran ilmu yang aplikatif di luar ruang kelas. Pada IKU 5 juga ditargetkan bahwa hasil kerja dosen dalam bentuk, teknologi tepat guna mesin cacah sampah, panduan atau modul daur ulang plastik dapat diadopsi oleh komunitas lain sehingga memberikan manfaat luas sebagai model pengelolaan sampah yang berkelanjutan [1]. Pesantren Daarul Ulum diharapkan mampu mendaur ulang sampah tutup botol plastik air kemasan dengan memanfaatkan mesin pencacah secara optimal, menciptakan produk daur ulang bernilai, serta menginspirasi pesantren lain untuk mengembangkan keterampilan ekonomi kreatif yang berbasis lingkungan, sekaligus memperkuat budaya daur ulang di masyarakat

Jenis sampah plastik yang banyak ditemui di pesantren terutama adalah material rPET dan PP dari sampah botol dan tutup botol plastik air kemasan [2]. Material ini sangat diminati dan mempunyai nilai jual yang tinggi karena dipakai sebagai bahan baku filamen untuk produk 3D printing dan bahan baku pembuatan apparel seperti sepatu [3] dan pakaian olahraga [4] dikarenakan karakteristik materialnya yang mempunyai sifat permeabilitas udara dan sifat laju penyerapan air yang baik sehingga nyaman dipakai saat berolahraga [5]. Hal ini sejalan dengan anjuran dari pemerintah bahwa masyarakat harus lebih mencintai produk dalam negeri salah satunya dengan menciptakan produk-produk baru dengan bahan baku daur ulang sampah untuk mendorong terbentuknya ekonomi sirkular. Penelitian menyebutkan bahwa daur ulang dan efisiensi sumber daya berpengaruh positif dan signifikan terhadap implementasi ekonomi sirkular, sementara inovasi produk tidak menunjukkan pengaruh yang signifikansinya hal ini dibuktikan dengan nilai kepercayaan tinggi dari model penelitian tersebut yaitu $R^2 = 0,983$ [6]. Apabila dilihat dari sisi ekonomi, perubahan bentuk sampah dari botol dan tutup plastik menjadi serpihan (*flakes*) serta tingkat kebersihan material ini juga meningkatkan harga jualnya sampai dengan 2,5 kali harga sampah botol utuh.

Mesin pencacah botol plastik dipasaran umumnya menggunakan pisau berjenis *shredder* dengan jumlah bilah pisau yang banyak dan disusun pada poros yang dipasang secara horizontal [7]–[10] sebagaimana terlihat pada Gambar 2. Tipe mesin pencacah plastik ini mempunyai harga yang relatif mahal, karena selain jumlah bilah pisau yang banyak, konstruksi mesinnya biasanya juga cukup rumit. Mesin pencacah jenis *shredder* ini biasanya diperuntukkan untuk pencacahan material plastik dalam jumlah besar yang umum dilakukan dalam skala industri. Tipe ini kurang sesuai di pergunakan pada timbulan sampah dalam skala kecil seperti di pesantren karena selain harganya mahal juga biaya operasionalnya cukup tinggi [11]. Mesin pencacah tutup botol yang digunakan dalam kegiatan pengabdian kepada masyarakat di pesantren ini menggunakan satu buah pisau tunggal yang diletakkan secara vertical didasar tabungnya. Konstruksi mesin relatif sederhana terdiri dari tabung yang digerakkan dengan motor diambil dari mesin pemotong keramik, sehingga biayanya sangat terjangkau. Konstruksi mesin hanya terbuat dari beberapa komponen saja yang bisa dibeli atau dibuat dari bahan daur ulang atau dapat dibeli dengan mudah dipasaran. Hal ini ditujukan agar mesin dapat di replikasi dengan mudah oleh masyarakat sehingga dapat tersebar dan dimanfaatkan untuk mempermudah pengelolaan dan pengolahan

sampah plastik botol menjadi serpihan plastik daur ulang . Pada Gambar 2 dapat dilihat mesin pencacah botol dan tutup plastik tipe *shredder*.



Gambar 2. Mesin Pencacah Plastik Tipe *Shredder* [7]

Gambar 3 memperlihatkan mesin pencacah botol plastik sederhana yang digunakan pada kegiatan PKM ini.



Gambar 3. Mesin Pencacah Tutup Botol Plastik Sederhana

2. METODE

Kegiatan PKM ini dilaksanakan di kampus 1 dan 3 Pesantren Daarul Ulum Lido Bogor. Dengan peserta 33 orang guru dan santri yang ditugaskan mengelola sampah dipesantren tersebut. Lokasi ini dipilih karena jumlah santrinya yang besar, 2000 orang, dan potensi terjadinya timbunan sampah botol dan tutup plastik cukup besar.

1. **Pra-PkM:** Melakukan survei awal ke lokasi untuk menelusuri persoalan insinerator dan menilai kondisi pengelolaan sampah di pesantren.
2. **Persiapan:** Menyusun materi pelatihan berupa modul, poster, dan slide presentasi mengenai mesin pencacah botol dan tutup plastik, sekaligus menyiapkan kebutuhan perlengkapan pelatihan.
3. **Pelaksanaan:** Kegiatan edukasi , pelatihan dan pendampingan dilakukan secara langsung di pesantren dengan tahapan proses sebagai berikut
 - 1) pre-test untuk mengetahui tingkat pemahaman awal peserta,
 - 2) pemaparan materi,
 - 3) Pendampingan penggunaan mesin cacah plastik
 - 4) diskusi interaktif, sesi tanya jawab
 - post-test untuk mengukur peningkatan pengetahuan.

4. **Pendampingan:** memonitor dan memberi pendampingan dalam penggunaan mesin pencacah botol dan tutup plastik menjadi serpihan material daur ulang yang siap dijual.

Indikator Keberhasilan

1. Adanya peningkatan pemahaman peserta mengenai, yang dibuktikan melalui perbandingan skor pre-test dan post-test.
2. Minimal terjadi peningkatan pengetahuan peserta sebesar 30% dari sebelum pelatihan. Peserta menjadi lebih mampu menguasai pengelolaan sampah dan teknologi pencacahan material daur ulang plastik dengan menggunakan mesin cacah.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pelaksanaan PkM dilaksanakan di Aula kampus 3 Pesantren Daarul Ulum Lido Bogor. Peserta sebanyak 33 orang terdiri dari pimpinan, guru-guru muda dan para santri yang secara bergiliran mendapatkan tugas dalam unit pengelolaan dan pengolahan sampah di lingkungan pesantren Daarul Ulum lihat Gambar 4.



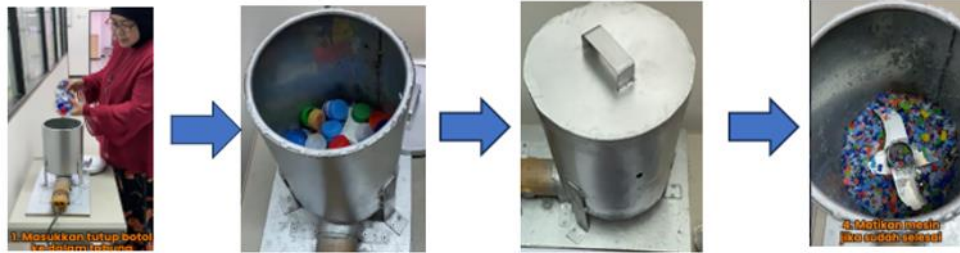
Gambar 4. Foto bersama dengan Seluruh peserta PkM Pesantren Daarul Ulum

Materi pelatihan "Pengolahan Sampah Tutup Botol Plastik Menggunakan Mesin Cacah" oleh instruktur kepada para peserta kegiatan PkM menggunakan metode Ceramah dan diskusi dapat dilihat pada Gambar 5.



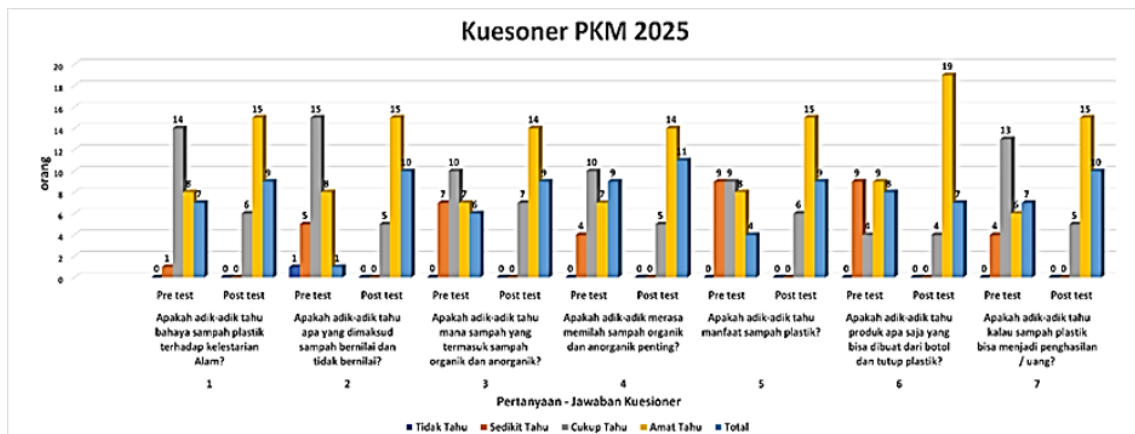
Gambar 5. Proses Pemaparan Materi Pengolahan Sampah Tutup Botol Plastik Menggunakan Mesin Cacah

Setelah pelatihan kegiatan dilanjutkan dengan pendampingan penggunaan mesin pencacah sampah agar peserta dapat memahami cara kerja mesin dan pengoperasiannya secara aman dan efisien sebagai mana terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Pendampingan Pengoperasian Mesin Pencacah Sampah Botol Plastik dan Tutupnya

Langkah selanjutnya untuk melihat berapa peningkatan pemahaman peserta, setelah dilakukan pelatihan dan pendampingan dengan materi mengenai jenis-jenis sampah, cara pemilahan, material sampah plastik, dan potensi pembuatan produk dari sampah plastik, kemudian dilakukan post test dapat terlihat pada diagram batang. Selanjutnya hasil pretest yang sudah dilakukan dibandingkan dengan hasil post testnya. Harapannya minimal terjadi peningkatan pengetahuan peserta sebesar 30% dari sebelum pelatihan. Peserta menjadi lebih mampu menguasai pengelolaan sampah dan teknologi pencacahan material daur ulang plastik dengan menggunakan mesin cacah.



Gambar 7. Diagram Batang Hasil Pre Test dan Post Test Pemahaman Materi

Berdasarkan hasil pretest dan post test pada Gambar 7 menunjukkan variasi tingkat pengetahuan peserta mengenai pengelolaan dan pemanfaatan sampah. Pada pertanyaan tentang bahaya sampah plastik terhadap kelestarian alam, sebanyak 15 orang berada pada kategori pengetahuan rendah (jawaban 1–3), sedangkan 15 lainnya memiliki pemahaman tinggi (jawaban 4–5). Pemahaman terhadap definisi sampah bernilai dan tidak bernilai, mayoritas responden, yaitu 21 orang, masih berada pada tingkat pemahaman dasar, sementara 9 orang sudah cukup memahami konsep tersebut. Pertanyaan mengenai jenis sampah organik dan anorganik memperlihatkan 17 orang memiliki pengetahuan terbatas dan sisanya tergolong paham. Pada aspek pentingnya pemilahan sampah, 14 orang menunjukkan pengetahuan rendah, sedangkan 16 lainnya lebih memahami urgensinya. Terkait manfaat sampah plastik, 18 orang masih dalam tahap cukup tahu, sementara 12 orang telah memahami lebih baik. Untuk pengetahuan tentang produk yang dapat dibuat dari botol plastik dan tutupnya, 13 responden memiliki pengetahuan rendah dan 17 lainnya cukup tahu hingga sangat tahu. Adapun dalam hal potensi sampah sebagai sumber pendapatan, 5 orang masih kurang memahami, sedangkan sebagian besar, yaitu 15 orang, menyadari peluang ekonominya.

Setelah pelatihan dan pendampingan dilakukan dengan materi seputar jenis-jenis sampah, teknik pemilahan, karakteristik material plastik, serta potensi pemanfaatannya menjadi

produk bernilai, terjadi peningkatan signifikan pada tingkat pemahaman peserta. Berdasarkan hasil post-test yang ditampilkan pada diagram batang Gambar 7, terlihat pergeseran besar dari kategori pengetahuan rendah ke tingkat yang lebih tinggi. Pada pertanyaan mengenai bahaya sampah plastik terhadap kelestarian alam, hanya 6 orang yang masih berada pada kelompok pemahaman rendah, sementara 24 orang menunjukkan peningkatan kesadaran yang baik. Pemahaman tentang perbedaan antara sampah bernilai dan tidak bernilai juga meningkat, dengan 25 peserta kini berada pada kelompok jawaban tinggi. Pengetahuan mengenai jenis sampah organik dan anorganik menunjukkan tren serupa, di mana 23 responden telah memahami dengan baik. Kesadaran akan pentingnya pemilahan sampah juga membaik, ditunjukkan oleh 25 peserta yang memilih kategori pengetahuan tinggi. Pada aspek manfaat plastik, sebanyak 24 orang sudah memahami potensinya, sedangkan dalam hal pemanfaatan botol dan tutup plastik menjadi produk baru, 26 peserta menunjukkan peningkatan yang sangat baik. Terakhir, pemahaman tentang potensi ekonomi dari pengelolaan sampah juga meningkat pesat, dengan 25 peserta menyadari bahwa sampah dapat menjadi sumber pendapatan yang menjanjikan.

Hasil analisis terhadap data pre-test dan post-test menunjukkan adanya peningkatan yang signifikan pada tingkat pengetahuan peserta setelah mengikuti kegiatan pelatihan dan pendampingan. Pergeseran jawaban dari kelompok 1, 2, dan 3 ke kelompok 4 dan 5 mencerminkan peningkatan pemahaman yang nyata terhadap isu-isu pengelolaan sampah, terutama sampah plastik. Berdasarkan diagram batang pada Gambar 4, peningkatan rata-rata pengetahuan peserta berkisar antara 30% hingga 53%, yang menegaskan keberhasilan pelaksanaan kegiatan PkM sesuai dengan tujuan yang telah direncanakan. Dampak positif juga terlihat dari penerapan langkah sederhana dalam pengolahan sampah, yaitu mencacah botol dan tutup plastik menjadi serpihan kecil, yang tidak hanya meningkatkan nilai ekonomisnya tetapi juga menata sistem penyimpanan sampah dengan lebih efisien. Hasil ini menunjukkan bahwa pendekatan praktis dan edukatif dapat memberikan perubahan nyata dalam perilaku dan kesadaran lingkungan. Lebih jauh, peran pesantren sebagai mitra strategis dalam kegiatan ini memiliki potensi besar untuk menjadi pusat penyebaran pengetahuan dan keterampilan pengelolaan sampah kepada masyarakat sekitar, sehingga manfaatnya dapat dirasakan secara berkelanjutan dan lebih luas.

4. KESIMPULAN

Pesantren memiliki peran strategis sebagai titik awal pembentukan karakter santri yang peduli terhadap lingkungan, khususnya dalam hal pengenalan, pemilahan, pengelolaan, dan pengolahan sampah. Kepedulian yang tumbuh di lingkungan santri diharapkan menjadi contoh yang menular kepada masyarakat sekitar, sehingga sampah tidak lagi dipandang sebagai masalah, melainkan sebagai sumber daya yang memiliki nilai ekonomi dan dapat mendukung terciptanya sistem sirkular ekonomi yang berkelanjutan. Hasil kegiatan PkM menunjukkan dampak positif yang nyata, dengan peningkatan pengetahuan peserta sebesar 30% hingga 53% berdasarkan hasil perbandingan antara pre-test dan post-test dari 30 peserta pelatihan. Capaian ini menegaskan bahwa program pembinaan berbasis edukasi dan praktik langsung efektif dalam meningkatkan kesadaran serta keterampilan pengelolaan sampah. Ke depan, kegiatan PkM serupa perlu diperluas cakupannya dan dilakukan pemantauan berkelanjutan agar manfaatnya tidak hanya bertahan sementara, tetapi terus berkembang melalui kegiatan pendidikan dan pelatihan berikutnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Trisakti yang telah memberi dukungan terhadap kegiatan Pengabdian Kepada Masyarakat dengan no kontrak: 0419/PR.05.00/FTI-DEK/XII/2024 Tahun Anggaran 2024.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. Ghimouz, J. P. Kenné, and L. A. Hof, 'On sustainable design and manufacturing for the footwear industry – Towards circular manufacturing', *Mater. Des.*, vol. 233, 2023, doi: 10.1016/j.matdes.2023.112224.
- [2] M. F. S. Sulistyawati, F. A. Kesaulya, D. Sri, R. Romlah, and A. P. Sari, 'Wirausaha Tangguh dan Kreatif Melalui Pengembangan Usaha Memanfaatkan Limbah Plastik Refil', *J. Pengabd. Masy. Indones.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–5, 2023, doi: 10.52436/1.jpmi.878.
- [3] A. Telli and N. Özdil, 'Effect of recycled PET fibers on the performance properties of knitted fabrics', *J. Eng. Fiber. Fabr.*, vol. 10, no. 2, 2015, doi: 10.1177/155892501501000206.
- [4] E. Sarioğlu, 'An investigation on performance optimization of r-PET/cotton and v-PET/cotton knitted fabric', *Int. J. Cloth. Sci. Technol.*, vol. 31, no. 3, 2019, doi: 10.1108/IJCST-08-2018-0108.
- [5] N. N. Aisa, R. Setiawan, D. Wicaksono, and E. Dimas, 'The effect of recycling frequency on the melt flow rate of polypropylene materials', *AIP Conf. Proc.*, vol. 2927, no. 1, pp. 1–6, 2024, doi: 10.1063/5.0192646.
- [6] A. Nurrochmah, L. V. Marcellina, T. Tata, P. Srikandi, N. Purwanto, and M. Y. R. Pandin, 'Pengaruh Daur Ulang, Efisiensi Sumber Daya, dan Inovasi Produk terhadap Implementasi Ekonomi Sirkular', 2025, doi: <https://doi.org/10.55606/jimak.v4i2.4667>.
- [7] M. Z. Chaari, M. Abdelfatah, S. Al-Sulaiti, F. Daroge, R. Al-Rahimi, and G. Pereira, 'Building a community-scale plastic recycling station to make flower pots from bottle caps', *SN Appl. Sci.*, vol. 5, no. 5, 2023, doi: 10.1007/s42452-023-05344-5.
- [8] G. Morales Méndez, A. del Cerro Pérez, and F. del Cerro Velázquez, 'Prototype Pultrusion of Recycled Polyethylene Terephthalate Plastic Bottles into Filament for 3D Eco-Printing: Education for a Sustainable Development Project', *Sustain.*, vol. 16, no. 19, 2024, doi: 10.3390/su16198347.
- [9] M. Y. Tan, H. T. Nicholas Kuan, and M. C. Lee, 'Characterization of Alkaline Treatment and Fiber Content on the Physical, Thermal, and Mechanical Properties of Ground Coffee Waste/Oxobiodegradable HDPE Biocomposites', *Int. J. Polym. Sci.*, vol. 2017, 2017, doi: 10.1155/2017/6258151.
- [10] R. N. Selan, E. U. . Maliwemu, and K. Boimau, 'Perancangan Sistem Transmisi Mesin Pencacah Sampah Plastik dengan Putaran Mesin 2800 RPM', *Al-Jazari J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 6, no. 1, 2021, doi: 10.31602/al-jazari.v6i1.5014.
- [11] J. J. Siahaan, 'Analisa Biaya Pembuatan Mesin Pencacah Plastik Kapasitas 150 Kg/Jam Di Cv. Star Umrah Engineering', *J. Persegi Bulat*, vol. 1, no. 2, pp. 1–6, 2022, doi: 10.36490/jurnalpersegiulat.v1i2.385.