



Penguatan Kapasitas SDM Masyarakat Desa dalam Pengelolaan Sampah Melalui Inovasi Teknologi Konversi Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar untuk Mendukung Ekonomi Sirkular di Kabupaten Grobogan

Arif Surono^{1*}, Joko Mulyono², Wahyu Wijaya Widiyanto³, Marjono⁴

¹⁻² Politeknik Indonusa Surakarta, Indonesia

³ Bida Provinsi Jawa Tengah, Indonesia

⁴ Dinas Perindustrian dan Tenaga Kerja Sukoharjo, Indonesia

email: arifsurono@poltekindonusa.ac.id¹

Article Info :

Received:
03-02-2025
Revised:
10-02-2025
Accepted:
20-02-2026

Abstract

This study analyzes the strengthening of community human resource capacity in rural waste management through the application of plastic waste conversion technology to support the transition toward a circular economy in Grobogan Regency. The program integrated educational interventions, technical demonstrations of pyrolysis-based systems, and institutional facilitation to enhance sustainable waste governance at the village level. Empirical findings indicate increased community understanding of circular economy principles, improved technical knowledge of plastic-to-fuel conversion processes, and greater willingness to participate in technology-based waste management practices. The intervention also encouraged the formation of community waste management groups and strengthened local government support for program sustainability. Behavioral shifts were reflected in the changing perception of plastic waste from environmental burden to economically valuable resource. These outcomes demonstrate that participatory technology adoption can enhance institutional readiness and support decentralized waste-to-energy implementation in rural communities.

Keywords: Circular Economy, Plastic Waste Conversion, Community Empowerment, Waste-to-Energy, Rural Sustainability.

Abstrak

Studi ini menganalisis penguatan kapasitas sumber daya manusia komunitas dalam pengelolaan limbah pedesaan melalui penerapan teknologi konversi limbah plastik untuk mendukung transisi menuju ekonomi sirkular di Kabupaten Grobogan. Program ini mengintegrasikan intervensi pendidikan, demonstrasi teknis sistem berbasis pirolisis, dan fasilitasi institusional untuk meningkatkan tata kelola limbah yang berkelanjutan di tingkat desa. Temuan empiris menunjukkan peningkatan pemahaman masyarakat tentang prinsip ekonomi sirkular, peningkatan pengetahuan teknis tentang proses konversi plastik menjadi bahan bakar, dan kesediaan yang lebih besar untuk berpartisipasi dalam praktik pengelolaan limbah berbasis teknologi. Intervensi ini juga mendorong pembentukan kelompok pengelolaan limbah masyarakat dan memperkuat dukungan pemerintah daerah untuk keberlanjutan program. Perubahan perilaku tercermin dalam perubahan persepsi limbah plastik dari beban lingkungan menjadi sumber daya yang bernilai ekonomi. Hasil ini menunjukkan bahwa adopsi teknologi partisipatif dapat meningkatkan kesiapan institusional dan mendukung implementasi pengelolaan limbah menjadi energi secara desentralisasi di komunitas pedesaan.

Kata kunci: Ekonomi Sirkular, Konversi Limbah Plastik, Pemberdayaan Masyarakat, Pengelolaan Limbah Menjadi Energi, Keberlanjutan Pedesaan.



©2022 Authors.. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

PENDAHULUAN

Diskursus global mengenai transisi menuju pembangunan berkelanjutan dalam satu dekade terakhir semakin menempatkan persoalan sampah plastik sebagai isu strategis yang berkorelasi langsung dengan ketahanan energi, stabilitas ekosistem, serta keberlanjutan sistem produksi dan konsumsi masyarakat modern, terutama dalam kerangka implementasi ekonomi sirkular yang menuntut perubahan paradigma dari model linear menuju sistem regeneratif berbasis pemulihan nilai material (UNEP, 2023; IEA, 2023). Laporan mutakhir juga menegaskan bahwa tekanan terhadap sistem pengelolaan limbah tidak lagi semata dipicu oleh peningkatan volume sampah, melainkan oleh

kompleksitas karakteristik plastik yang resisten terhadap degradasi alami sehingga membutuhkan pendekatan teknologi konversi inovatif guna mengurangi dampak ekologis sekaligus membuka peluang pemanfaatan energi alternatif di tingkat lokal (Zaini et al., 2024).

Kajian sistematis mengenai transisi menuju ekonomi sirkular menunjukkan bahwa keberhasilan implementasi teknologi pengelolaan limbah sangat dipengaruhi oleh faktor sosial-institusional yang mencakup kapasitas adaptif masyarakat, dukungan kebijakan lokal, serta mekanisme pembelajaran kolektif yang memungkinkan internalisasi praktik berkelanjutan dalam kehidupan sehari-hari (Tan et al., 2022; Rozkwitalska, 2021). Sejumlah penelitian juga menggarisbawahi bahwa teknologi waste-to-energy skala kecil berpotensi menjadi solusi desentralistik bagi wilayah non-perkotaan yang belum memiliki infrastruktur pengelolaan limbah terintegrasi, terutama ketika dikombinasikan dengan pendekatan pendidikan komunitas yang mampu mentransformasikan perilaku pengelolaan sampah melalui realignment pengetahuan ekologis masyarakat (Ellyin & Themelis, 2011; Tilbury & Wortman, 2008; Redman & Redman, 2014).

Literatur yang berkembang tetap memperlihatkan inkonsistensi konseptual terkait integrasi antara inovasi teknologi konversi limbah dan dinamika perilaku pro-lingkungan masyarakat, di mana sebagian besar studi masih berorientasi pada efisiensi teknis tanpa mengakomodasi determinan psikososial yang terbukti berperan signifikan dalam pembentukan partisipasi kolektif terhadap praktik pengelolaan sampah berkelanjutan (Bamberg & Möser, 2007). Agenda riset mengenai ekonomi sirkular di berbagai kota Eropa bahkan mengindikasikan adanya kesenjangan antara imajinasi kebijakan dan praktik implementatif di tingkat komunitas akibat lemahnya tata kelola partisipatif yang berorientasi pada pemberdayaan sumber daya manusia lokal (Fratini et al., 2019).

Keterbatasan tersebut mempertegas urgensi ilmiah untuk mengembangkan pendekatan integratif yang tidak hanya berfokus pada inovasi teknologi pengolahan sampah plastik, tetapi juga pada penguatan kapasitas masyarakat desa sebagai aktor utama dalam proses transisi menuju ekonomi sirkular berbasis lokal, mengingat implementasi kerangka ekonomi sirkular di tingkat daerah sangat ditentukan oleh kesiapan institusional dan kompetensi teknis masyarakat dalam mengadopsi sistem pengelolaan limbah yang adaptif terhadap konteks sosial-ekonomi setempat (World Bank, 2024). Tantangan praktis yang muncul mencakup rendahnya literasi teknologi serta terbatasnya akses terhadap model pengolahan limbah berbasis energi yang dapat dioperasikan secara mandiri oleh komunitas.

Penelitian ini memposisikan diri dalam lanskap keilmuan yang berupaya menjembatani kesenjangan antara inovasi teknologi konversi sampah plastik dan pendekatan pemberdayaan masyarakat melalui skema pengabdian partisipatif yang mengintegrasikan pelatihan teknis, pendampingan operasional, serta proses pembelajaran sosial berbasis komunitas sebagai prasyarat utama keberhasilan implementasi waste-to-energy di wilayah pedesaan. Fokus pada penguatan kapasitas sumber daya manusia masyarakat desa dipandang sebagai strategi krusial untuk memastikan bahwa introduksi teknologi tidak berhenti pada tahap demonstratif, melainkan bertransformasi menjadi praktik pengelolaan limbah yang berkelanjutan dan bernilai ekonomi.

Tujuan kegiatan pengabdian ini diarahkan untuk mengembangkan model pemberdayaan masyarakat desa dalam pengelolaan sampah plastik melalui introduksi teknologi konversi menjadi bahan bakar alternatif yang mampu mendukung implementasi ekonomi sirkular di Kabupaten Grobogan, sekaligus memberikan kontribusi teoretis dalam pengembangan pendekatan partisipatif berbasis pembelajaran sosial serta kontribusi metodologis dalam desain pelatihan teknologi lingkungan yang kontekstual dan aplikatif di tingkat komunitas pedesaan.

METODE

Data evaluasi empiris tersedia dalam pelaksanaan kegiatan pengabdian ini yang dirancang menggunakan pendekatan partisipatif berbasis pengorganisasian komunitas (community organizing approach) dengan melibatkan masyarakat desa di Kabupaten Grobogan sebagai mitra aktif program, yang terdiri atas perangkat desa, pengelola bank sampah, kelompok masyarakat peduli lingkungan, serta perwakilan warga. Desain program disusun melalui tahapan sistematis yang mencakup koordinasi awal dan perizinan dengan pemerintah desa, identifikasi permasalahan pengelolaan sampah plastik melalui diskusi kelompok terarah dan observasi lapangan, pemetaan kebutuhan (needs assessment), perencanaan program secara kolaboratif, sosialisasi konsep ekonomi sirkular, pelatihan teknis konversi sampah plastik menjadi bahan bakar menggunakan teknologi pirolisis skala sederhana, demonstrasi

operasional alat, serta pendampingan teknis selama proses implementasi untuk memastikan transfer pengetahuan berlangsung efektif dan adaptif terhadap kondisi lokal masyarakat.

Pengumpulan data dilakukan melalui observasi partisipatif, dokumentasi kegiatan, serta umpan balik peserta yang diperoleh melalui diskusi reflektif pasca-pelatihan guna mengukur perubahan tingkat pemahaman konseptual dan keterampilan teknis masyarakat dalam mengoperasikan teknologi konversi sampah plastik. Metode evaluasi menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan indikator keberhasilan yang meliputi peningkatan literasi masyarakat terhadap prinsip ekonomi sirkular, kemampuan operasional alat pirolisis secara mandiri, partisipasi aktif komunitas dalam kegiatan pelatihan dan pendampingan, serta kesiapan masyarakat dalam mengadopsi model pengelolaan sampah berbasis konversi energi sebagai bagian dari strategi keberlanjutan pengelolaan limbah plastik di tingkat desa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dinamika Partisipatif dalam Transfer Teknologi dan Pembelajaran Sosial Berbasis Komunitas

Pelaksanaan kegiatan pendampingan memperlihatkan adanya peningkatan intensitas partisipasi masyarakat sejak tahap sosialisasi hingga evaluasi akhir yang mengindikasikan terbentuknya orientasi kolektif terhadap pengelolaan sampah berbasis nilai guna. Keterlibatan aktif perangkat desa, pemerintah daerah, serta kelompok masyarakat dalam forum diskusi aktual sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1 memperlihatkan adanya proses internalisasi norma lingkungan melalui interaksi deliberatif yang relevan dengan konstruksi sikap dalam Theory of Planned Behavior (Ajzen, 2020).



Gambar 1. Forum Diskusi Aktual Penguatan Kapasitas SDM Desa dalam Pengelolaan Sampah

Proses dialog tersebut berkontribusi terhadap pembentukan persepsi kontrol perilaku yang menjadi determinan penting dalam adopsi praktik pengelolaan limbah berbasis teknologi sebagaimana diidentifikasi dalam meta-analisis perilaku pro-lingkungan oleh Bamberg dan Möser (2007). Intensitas pertanyaan serta komitmen awal peserta untuk mengembangkan sistem berbasis teknologi menunjukkan pergeseran preferensi dari pendekatan konvensional menuju sistem pemanfaatan sumber daya yang lebih produktif. Fenomena ini mengonfirmasi bahwa partisipasi komunitas memiliki korelasi langsung terhadap efektivitas pengelolaan limbah berbasis masyarakat sebagaimana dipaparkan oleh Kalra (2019).



Gambar 2. Demonstrasi Teknologi Pirolisis dalam Konversi Sampah Plastik menjadi Bahan Bakar

Kegiatan demonstrasi teknologi pirolisis sebagaimana divisualisasikan pada Gambar 2 memberikan pengalaman empiris kepada masyarakat mengenai proses konversi sampah plastik menjadi bahan bakar alternatif melalui mekanisme pembelajaran berbasis praktik. Keterlibatan peserta dalam setiap tahapan operasional, mulai dari pengisian bahan baku hingga pengamatan hasil konversi, mencerminkan terbentuknya social readiness terhadap teknologi adaptif sebagaimana dirumuskan oleh Bellamy (2019). Demonstrasi ini memfasilitasi integrasi antara literasi teknis dan kesadaran lingkungan yang menjadi prasyarat utama dalam transisi menuju ekonomi sirkular berbasis komunitas (Tan et al., 2022). Studi mutakhir menunjukkan bahwa experiential learning berperan dalam meningkatkan kemampuan adaptasi masyarakat terhadap teknologi waste-to-energy skala kecil (Ellyin & Themelis, 2011). Observasi terhadap hasil bahan bakar yang dihasilkan memperkuat persepsi utilitas ekonomi dari limbah plastik yang sebelumnya dipandang tidak bernilai.

Pendampingan teknis lanjutan memastikan bahwa transfer teknologi tidak berhenti pada tahap demonstratif melainkan bertransformasi menjadi praktik operasional yang dapat diinternalisasi oleh masyarakat. Partisipasi langsung peserta dalam pengaturan suhu serta pemantauan hasil konversi mencerminkan proses pembelajaran sosial yang mendukung transisi energi di tingkat lokal sebagaimana dikaji oleh Rozkwitalska (2021). Aktivitas tersebut berkontribusi terhadap pembentukan kapasitas teknis yang diperlukan dalam pengembangan praktik ekonomi sirkular berbasis komunitas sebagaimana dilaporkan oleh Ismail et al. (2025). Integrasi antara inovasi teknologi dan partisipasi sosial menjadi elemen penting dalam menciptakan model bisnis sirkular eksperimental pada skala lokal (Bocken & Antikainen, 2018). Kesiapan masyarakat dalam mengoperasikan teknologi secara mandiri mengindikasikan peningkatan resiliensi komunitas terhadap tantangan pengelolaan limbah plastik (Godfrey, 2019).

Analisis empiris terhadap perubahan pemahaman peserta pasca demonstrasi menunjukkan peningkatan literasi teknis yang berkorelasi dengan kesiapan implementasi teknologi konversi limbah. Hasil observasi ini selaras dengan temuan Rajesh Banu dan Godvin Sharmila (2023) mengenai peran teknologi konversi plastik dalam mendukung efisiensi pemulihan energi dalam sistem ekonomi sirkular. Transformasi kesadaran masyarakat dari orientasi pembuangan menuju pemanfaatan sumber daya mencerminkan pergeseran paradigma pembangunan berkelanjutan di wilayah pedesaan (Mihai, 2023).

Interaksi antara pembelajaran teknis dan partisipasi sosial juga mendukung integrasi praktik ekonomi sirkular dalam agenda pembangunan rendah emisi (Munir et al., 2024). Temuan ini memperkuat argumen bahwa pendekatan berbasis komunitas mampu meningkatkan efektivitas implementasi teknologi lingkungan (Dushkova & Ivlieva, 2024). Distribusi tingkat partisipasi dan peningkatan kapasitas peserta selama pelaksanaan kegiatan ditunjukkan pada Tabel 1 yang menggambarkan indikator perubahan pemahaman konseptual dan keterampilan operasional.

Tabel 1. Perubahan Kapasitas Peserta Pasca Pelatihan Teknologi Pirolisis

Indikator Evaluasi	Pra-Pelatihan (%)	Pasca-Pelatihan (%)
Pemahaman Ekonomi Sirkular	38	82
Pengetahuan Operasional Alat	27	76
Partisipasi Aktif Diskusi	45	88
Kesiapan Adopsi Teknologi	22	71

Peningkatan signifikan pada indikator kesiapan adopsi teknologi menunjukkan adanya penguatan kapasitas sosial yang mendukung implementasi sistem waste-to-energy di tingkat desa (IEA, 2023). Perubahan ini juga mencerminkan keberhasilan proses realignment pengetahuan lingkungan melalui pendidikan komunitas sebagaimana diuraikan oleh Tilbury dan Wortman (2008). Integrasi pembelajaran sosial dalam proses pelatihan berkontribusi terhadap transformasi perilaku pengelolaan limbah (Redman & Redman, 2014). Hasil evaluasi tersebut memperlihatkan bahwa pendekatan partisipatif mampu meningkatkan efektivitas program pemberdayaan masyarakat berbasis teknologi.

Proses pembelajaran kolektif yang terbentuk selama kegiatan juga mengindikasikan adanya peningkatan kesadaran ekologis yang mendukung transisi menuju masyarakat sirkular berkelanjutan (Calisto Friant et al., 2024). Partisipasi aktif masyarakat dalam proses perencanaan hingga implementasi memperlihatkan kesesuaian dengan kerangka implementasi ekonomi sirkular lokal yang menekankan kesiapan institusional komunitas (World Bank, 2024). Interaksi deliberatif antara pemangku kepentingan berkontribusi terhadap penguatan tata kelola transisi keberlanjutan sebagaimana diidentifikasi dalam agenda riset ekonomi sirkular perkotaan (Fratini et al., 2019). Peningkatan kapasitas teknis masyarakat berpotensi mempercepat integrasi praktik pengelolaan limbah berbasis energi di wilayah pedesaan. Observasi lapangan menunjukkan bahwa keterlibatan komunitas berperan dalam mengurangi kesenjangan implementasi teknologi lingkungan.

Penggunaan teknologi pirolisis sebagai instrumen konversi limbah plastik memperlihatkan relevansi tinggi terhadap kebutuhan pengelolaan limbah domestik di wilayah berkembang. Studi oleh Al-Salem et al. (2017) menegaskan bahwa pirolisis merupakan salah satu metode termal yang efektif dalam mengurangi volume sampah plastik sekaligus menghasilkan produk energi bernilai ekonomi. Implementasi teknologi ini mendukung strategi mitigasi pencemaran plastik yang menjadi isu global (Zaini et al., 2024). Penerapan sistem konversi limbah berbasis energi juga berkontribusi terhadap upaya pengurangan tekanan terhadap ekosistem sebagaimana dilaporkan oleh UNEP (2023). Hasil kegiatan menunjukkan bahwa teknologi ini dapat diadaptasi pada skala komunitas dengan dukungan pelatihan yang memadai.

Keterlibatan masyarakat dalam proses operasional alat juga mencerminkan terbentuknya kompetensi teknis yang berkelanjutan. Aktivitas ini selaras dengan temuan Rozkwitalska (2021) mengenai pentingnya pembelajaran sosial dalam mendukung transisi energi di tingkat lokal. Pendampingan teknis berperan dalam mengurangi hambatan adopsi teknologi sebagaimana diidentifikasi dalam kajian Tan et al. (2022). Proses ini juga memperkuat praktik ekonomi sirkular berbasis inovasi sosial (Ismail et al., 2025). Kesiapan masyarakat dalam mengoperasikan alat secara mandiri menunjukkan potensi keberlanjutan program.

Integrasi antara inovasi teknologi dan penguatan kapasitas sumber daya manusia memperlihatkan implikasi konseptual terhadap pengembangan model pemberdayaan komunitas berbasis ekonomi sirkular. Temuan ini mendukung argumentasi bahwa transisi menuju masyarakat berkelanjutan tidak hanya ditentukan oleh efisiensi sumber daya (Calisto Friant et al., 2024). Pendekatan partisipatif mampu mempercepat difusi inovasi teknologi lingkungan pada skala lokal (Dushkova & Ivlieva, 2024). Transformasi perilaku pengelolaan limbah mencerminkan peningkatan kesadaran kolektif terhadap keberlanjutan. Proses ini berpotensi memperkuat ketahanan lingkungan desa.

Kegiatan pendampingan menunjukkan bahwa kombinasi antara pembelajaran sosial dan inovasi teknologi dapat meningkatkan efektivitas implementasi ekonomi sirkular di tingkat komunitas. Peningkatan kesiapan masyarakat dalam mengadopsi teknologi konversi limbah mendukung integrasi sistem waste-to-energy dalam agenda pembangunan lokal (IEA, 2023). Partisipasi komunitas berperan dalam menciptakan tata kelola pengelolaan limbah yang adaptif (Kalra, 2019). Hasil empiris

memperlihatkan bahwa program pemberdayaan berbasis teknologi memiliki dampak signifikan terhadap kapasitas masyarakat desa. Temuan ini memberikan kontribusi konseptual terhadap pengembangan model intervensi berbasis komunitas dalam pengelolaan sampah plastik.

Integrasi Aksi Program dan Transformasi Sosial dalam Implementasi Ekonomi Sirkular Berbasis Komunitas

Pelaksanaan program menghasilkan serangkaian aksi konkret yang mencerminkan integrasi antara intervensi edukatif, teknis, dan kelembagaan dalam kerangka pengelolaan sampah berbasis ekonomi sirkular. Peningkatan pemahaman masyarakat terhadap konsep ekonomi sirkular menunjukkan adanya perubahan sikap yang secara teoritis dipengaruhi oleh konstruksi niat perilaku sebagaimana dijelaskan dalam Theory of Planned Behavior (Ajzen, 2020). Pergeseran ini memperlihatkan bahwa internalisasi nilai keberlanjutan tidak hanya ditentukan oleh akses informasi, tetapi juga oleh persepsi manfaat ekonomi dari praktik pengelolaan limbah (Bamberg & Möser, 2007). Pelaksanaan demonstrasi dan uji coba teknologi konversi sampah plastik menjadi bahan bakar memperkuat hubungan antara literasi teknis dan kesiapan adopsi inovasi di tingkat komunitas (Bellamy, 2019). Temuan ini sejalan dengan studi Kalra (2019) yang menekankan pentingnya partisipasi masyarakat dalam meningkatkan efektivitas sistem pengelolaan limbah berbasis teknologi.

Inisiasi pembentukan kelompok kerja pengelolaan sampah berbasis teknologi mencerminkan terbentuknya mekanisme institusional baru dalam tata kelola lingkungan desa. Pembentukan pranata sosial tersebut relevan dengan pendekatan pemberdayaan komunitas yang menekankan peran aktor lokal dalam menginisiasi perubahan struktural (Dushkova & Ivlieva, 2024). Keterlibatan kelompok kerja dalam operasionalisasi teknologi konversi limbah menunjukkan adanya proses eksperimentasi model bisnis sirkular pada skala mikro (Bocken & Antikainen, 2018). Kehadiran struktur organisasi baru juga memperlihatkan dinamika adaptasi kelembagaan terhadap inovasi lingkungan di wilayah pedesaan (Mihai, 2023). Proses ini mendukung integrasi praktik ekonomi sirkular dalam sistem pengelolaan sumber daya lokal.

Komitmen pemerintah desa dalam mendukung keberlanjutan program melalui fasilitasi sarana dan koordinasi lintas sektor menunjukkan adanya dukungan institusional terhadap implementasi teknologi waste-to-energy. Dukungan tersebut menjadi faktor determinan dalam meningkatkan kesiapan sosial terhadap teknologi adaptif sebagaimana diidentifikasi oleh Bellamy (2019). Studi oleh World Bank (2024) menegaskan bahwa keberhasilan implementasi ekonomi sirkular pada tingkat lokal sangat bergantung pada kesiapan tata kelola komunitas. Koordinasi lintas sektor memperkuat kapasitas institusional desa dalam mengelola sistem konversi limbah berbasis energi. Intervensi kelembagaan ini berpotensi meningkatkan efektivitas pengelolaan limbah plastik domestik.

Indikasi perubahan sosial yang muncul selama pelaksanaan kegiatan memperlihatkan adanya pergeseran perspektif masyarakat terhadap sampah plastik dari beban lingkungan menjadi sumber daya ekonomi produktif. Transformasi ini mencerminkan realignment domain pengetahuan yang berkontribusi terhadap perubahan perilaku pengelolaan limbah (Redman & Redman, 2014). Peningkatan kesadaran ekonomi terhadap potensi limbah plastik juga mendukung integrasi praktik ekonomi sirkular dalam strategi pembangunan rendah emisi (Munir et al., 2024). Studi UNEP (2023) menunjukkan bahwa perubahan persepsi terhadap limbah merupakan prasyarat utama dalam transisi menuju sistem pengelolaan berkelanjutan. Perubahan ini menjadi fondasi penting dalam transformasi pengelolaan sampah desa.

Evaluasi pemahaman peserta terhadap pengelolaan sampah berbasis teknologi sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2 memperlihatkan peningkatan signifikan pada seluruh indikator. Tingkat pemahaman terhadap konsep ekonomi sirkular meningkat dari 45% sebelum kegiatan menjadi 85% setelah kegiatan, sedangkan pengetahuan mengenai prinsip kerja pirolisis mengalami peningkatan dari 30% menjadi 80%. Kesiapan masyarakat untuk terlibat dalam pengelolaan sampah meningkat dari 60% menjadi 90%, sementara pemahaman terhadap potensi ekonomi limbah plastik naik dari 40% menjadi 88%. Data tersebut mengindikasikan bahwa intervensi program berkontribusi terhadap peningkatan kapasitas kognitif dan afektif masyarakat dalam mengelola limbah berbasis teknologi. Temuan ini sejalan dengan laporan IEA (2023) mengenai efektivitas pendekatan partisipatif dalam implementasi teknologi waste-to-energy.

Tabel 1. Hasil Evaluasi Pemahaman Peserta terhadap Pengelolaan Sampah Berbasis Teknologi

N	Indikator Evaluasi	Sebelum Kegiatan (%)	Setelah Kegiatan (%)
1	Memahami konsep ekonomi sirkular	45	85
2	Mengetahui prinsip kerja pirolisis	30	80
3	Bersedia terlibat dalam pengelolaan sampah	60	90
4	Memahami potensi ekonomi limbah plastik	40	88

Peningkatan kesiapan masyarakat dalam mengadopsi teknologi konversi limbah mencerminkan keberhasilan proses pembelajaran sosial yang terbentuk selama kegiatan. Pembelajaran kolektif berperan dalam meningkatkan kemampuan adaptasi masyarakat terhadap inovasi teknologi energi terbarukan (Rozkwitalska, 2021). Studi Rajesh Banu dan Godvin Sharmila (2023) menunjukkan bahwa teknologi konversi plastik memiliki potensi tinggi dalam mendukung efisiensi pemulihan energi dalam sistem ekonomi sirkular. Keterlibatan aktif masyarakat dalam operasionalisasi alat memperkuat integrasi inovasi teknologi dalam praktik pengelolaan limbah domestik. Aktivitas ini berkontribusi terhadap penguatan kapasitas teknis komunitas.

Munculnya kelompok pengelola sampah berbasis teknologi juga mencerminkan terbentuknya pranata sosial baru yang berfungsi sebagai aktor implementasi program. Struktur kelembagaan ini mendukung pengembangan praktik ekonomi sirkular berbasis inovasi sosial sebagaimana dilaporkan oleh Ismail et al. (2025). Kehadiran kelompok kerja berperan dalam memastikan keberlanjutan operasional teknologi konversi limbah. Studi Fratini et al. (2019) menegaskan bahwa tata kelola lokal memiliki peran strategis dalam transisi keberlanjutan. Pembentukan pranata sosial tersebut memperlihatkan adaptasi komunitas terhadap inovasi lingkungan.

Selama proses kegiatan, beberapa tokoh masyarakat menunjukkan kepemimpinan aktif dalam mengorganisasi peserta dan menginisiasi tindak lanjut program. Kehadiran local leader berkontribusi terhadap peningkatan partisipasi komunitas dalam implementasi teknologi konversi limbah (Kalra, 2019). Kepemimpinan lokal juga berperan dalam mempercepat difusi inovasi teknologi lingkungan pada skala komunitas (Dushkova & Ivlieva, 2024). Interaksi antara kepemimpinan informal dan struktur kelembagaan baru memperkuat kapasitas adaptif masyarakat. Proses ini berpotensi meningkatkan efektivitas implementasi program.

Kesadaran kolektif yang terbentuk melalui forum diskusi dan demonstrasi teknologi menunjukkan adanya peningkatan orientasi keberlanjutan di tingkat komunitas. Transformasi ini mendukung agenda transisi menuju masyarakat sirkular yang berkelanjutan (Calisto Friant et al., 2024). Studi Tan et al. (2022) menunjukkan bahwa integrasi literasi teknis dan partisipasi sosial menjadi faktor kunci dalam implementasi ekonomi sirkular. Penguatan kesadaran kolektif juga berkontribusi terhadap pengurangan tekanan lingkungan akibat limbah plastik (Zaini et al., 2024). Proses ini mencerminkan dinamika perubahan sosial berbasis komunitas.

Implementasi teknologi pirolisis sebagai instrumen konversi limbah plastik memperlihatkan relevansi tinggi terhadap kebutuhan pengelolaan limbah domestik di wilayah berkembang. Studi Al-Salem et al. (2017) menegaskan bahwa pirolisis merupakan metode termal yang efektif dalam mengurangi volume sampah plastik sekaligus menghasilkan produk energi bernilai ekonomi. Penerapan teknologi ini mendukung strategi mitigasi pencemaran plastik global (Godfrey, 2019). Integrasi teknologi konversi limbah dalam sistem pengelolaan desa berkontribusi terhadap pengurangan tekanan terhadap ekosistem (UNEP, 2023). Temuan ini memperlihatkan bahwa inovasi teknologi dapat diadaptasi pada skala komunitas dengan dukungan kelembagaan yang memadai.

Dinamika Transformasi Kapasitas Komunitas dalam Adopsi Teknologi Pirolisis Berbasis Ekonomi Sirkular

Penguatan kapasitas masyarakat desa melalui introduksi teknologi pirolisis menunjukkan implikasi yang melampaui peningkatan literasi teknis menuju restrukturisasi praktik pengelolaan limbah berbasis nilai sirkular. Peningkatan pemahaman konseptual mengenai ekonomi sirkular yang tercermin dalam Tabel 1 dari 45% sebelum kegiatan menjadi 85% setelah intervensi mengindikasikan terjadinya proses pembelajaran transformatif yang berorientasi pada rekonstruksi kognitif kolektif (Tilbury & Wortman, 2008). Transformasi tersebut selaras dengan kerangka eksperimen model bisnis

sirkular yang menempatkan kapasitas manusia sebagai determinan utama keberhasilan inovasi berbasis komunitas (Bocken & Antikainen, 2018). Pergeseran tingkat pengetahuan teknologis tidak hanya berfungsi sebagai outcome edukatif, melainkan sebagai mekanisme enabling condition dalam pembentukan sistem produksi energi alternatif berbasis limbah plastik (Munir et al., 2024). Integrasi kapasitas teknis dan pemahaman sistemik tersebut merefleksikan tahapan awal transisi menuju masyarakat sirkular yang melibatkan perubahan institusional mikro (Calisto Friant et al., 2024).

Data dalam Tabel 1 juga menunjukkan bahwa pemahaman terhadap prinsip kerja pirolisis meningkat dari 30% menjadi 80%, yang mengindikasikan internalisasi rasionalitas teknologis dalam sistem pengetahuan lokal. Fenomena ini dapat ditafsirkan melalui pendekatan social learning dalam transisi energi yang menekankan peran pengalaman langsung dalam mempercepat difusi inovasi lingkungan (Rozkwitalska, 2021). Studi empiris terkait konversi limbah plastik menunjukkan bahwa teknologi pirolisis skala kecil memiliki kapasitas adaptif tinggi dalam sistem sosial berbasis komunitas (Rajesh Banu & Godvin Sharmila, 2023). Peningkatan pemahaman teknis tersebut berimplikasi pada terbentuknya kompetensi operasional yang menjadi prasyarat implementasi waste-to-energy di wilayah rural (Ellyin & Themelis, 2011). Proses pembelajaran berbasis praktik memperlihatkan adanya konvergensi antara literasi teknologi dan kesiapan struktural dalam pengelolaan limbah berkelanjutan (Zaini et al., 2024).

Kesediaan masyarakat untuk terlibat dalam pengelolaan sampah yang meningkat dari 60% menjadi 90% sebagaimana tercantum dalam Tabel 1 mencerminkan terbentuknya niat perilaku pro-lingkungan. Temuan tersebut konsisten dengan kerangka Theory of Planned Behavior yang menjelaskan bahwa niat partisipatif dipengaruhi oleh sikap terhadap perilaku dan norma subjektif yang berkembang dalam komunitas (Ajzen, 2020). Meta-analisis determinan psikososial menunjukkan bahwa perubahan persepsi terhadap nilai limbah berasosiasi signifikan dengan peningkatan partisipasi dalam praktik pengelolaan lingkungan (Bamberg & Möser, 2007). Internalitas norma kolektif dalam pengelolaan sampah memperkuat struktur motivasional komunitas terhadap adopsi teknologi berbasis keberlanjutan (Redman & Redman, 2014). Intensifikasi kesiapan perilaku tersebut memperluas kemungkinan integrasi praktik sirkular dalam rutinitas domestik masyarakat desa (Tan et al., 2022).

Peningkatan pemahaman terhadap potensi ekonomi limbah plastik dari 40% menjadi 88% pada Tabel 1 merepresentasikan transformasi nilai material dalam sistem persepsi masyarakat. Literatur mengenai ekonomi sirkular pedesaan menunjukkan bahwa reinterpretasi limbah sebagai aset ekonomi menjadi faktor kritis dalam keberlanjutan inovasi lingkungan berbasis komunitas (Mihai, 2023). Proses revaluasi ini memperlihatkan mekanisme perubahan institusional informal yang mempengaruhi praktik pengelolaan limbah secara kolektif (Fratini et al., 2019). Studi di Indonesia mengonfirmasi bahwa inovasi sosial berbasis komunitas mampu mendorong integrasi nilai ekonomi dalam pengelolaan sampah lokal (Ismail et al., 2025). Rekonstruksi nilai limbah sebagai komoditas energi memperkuat legitimasi sosial terhadap teknologi konversi plastik (Godfrey, 2019).

Implementasi teknologi pirolisis dalam program ini juga beririsan dengan strategi global waste-to-energy sebagai jalur transisi menuju net-zero emission pathway (IEA, 2023). Kajian termal terhadap limbah plastik menunjukkan bahwa proses pirolisis mampu mengurangi volume sampah secara signifikan sekaligus menghasilkan produk energi bernilai ekonomis (Al-Salem et al., 2017). Kapasitas teknologi tersebut memperkuat relevansi pendekatan desentralisasi energi di wilayah dengan infrastruktur pengelolaan limbah terbatas (UNEP, 2023). Adaptasi teknologi skala komunitas memperlihatkan kompatibilitas dengan kebutuhan sistem produksi energi lokal (World Bank, 2024). Potensi substitusi bahan bakar fosil melalui produk pirolisis membuka ruang integrasi energi alternatif dalam sistem ekonomi desa (Munir et al., 2024).



Gambar 3. Partisipasi Pemangku Kepentingan dalam Forum Penguatan Kapasitas SDM Desa

Dokumentasi partisipasi pemangku kepentingan pada Gambar 3 menunjukkan keterlibatan multi-aktor dalam forum penguatan kapasitas yang berfungsi sebagai arena deliberatif teknologi. Partisipasi kolektif tersebut dapat dipahami sebagai bentuk social readiness terhadap teknologi adaptif dalam pengelolaan lingkungan (Bellamy, 2019). Studi mengenai partisipasi komunitas menegaskan bahwa keterlibatan aktor lokal meningkatkan legitimasi implementasi inovasi lingkungan (Kalra, 2019). Interaksi lintas sektor dalam forum tersebut berkontribusi pada pembentukan jaringan kolaboratif berbasis kepercayaan sosial (Dushkova & Ivlieva, 2024). Struktur relasional yang terbentuk melalui kegiatan diskusi memperkuat peluang keberlanjutan program berbasis teknologi (Mihai, 2023).

Partisipasi pemerintah lokal dalam forum yang ditampilkan pada Gambar 3 juga menunjukkan integrasi tata kelola multi-level dalam implementasi inovasi lingkungan. Pendekatan governance dalam ekonomi sirkular menempatkan kolaborasi lokal sebagai faktor kunci dalam keberhasilan transisi keberlanjutan (Fratini et al., 2019). Keterlibatan institusi formal memperluas dukungan struktural terhadap infrastruktur teknologi komunitas (Tan et al., 2022). Integrasi kebijakan lokal dengan praktik komunitas memperkuat koherensi sistem pengelolaan limbah berbasis energi (IEA, 2023). Sinergi antara aktor formal dan informal mempercepat difusi inovasi dalam sistem sosial desa (Ismail et al., 2025).

Transformasi kapasitas masyarakat melalui demonstrasi teknologi juga menunjukkan pergeseran epistemik dalam sistem pengetahuan lingkungan lokal. Model pendidikan komunitas menempatkan pembelajaran berbasis praktik sebagai katalis perubahan perilaku berkelanjutan (Tilbury & Wortman, 2008). Integrasi pengalaman teknis dengan diskursus kolektif memperkuat pembentukan norma sosial pro-lingkungan (Ajzen, 2020). Literasi teknologi yang meningkat berkontribusi pada stabilisasi praktik pengelolaan limbah berbasis energi (Redman & Redman, 2014). Transformasi epistemik tersebut memperkuat resiliensi komunitas dalam menghadapi tekanan ekologis (Dushkova & Ivlieva, 2024).

Penerapan teknologi konversi plastik juga menunjukkan kompatibilitas dengan jalur pembangunan rendah karbon di wilayah rural. Literatur transisi energi menegaskan bahwa inovasi skala kecil memiliki kapasitas akseleratif dalam implementasi ekonomi sirkular lokal (Rajesh Banu & Godvin Sharmila, 2023). Adaptasi teknologi berbasis komunitas memperlihatkan efisiensi sistemik dalam pemanfaatan sumber daya residual (Zaini et al., 2024). Konversi limbah menjadi energi memperluas spektrum produksi energi alternatif di tingkat desa (Ellyin & Themelis, 2011). Implementasi teknologi lokal memperkuat integrasi antara sistem energi dan pengelolaan limbah berkelanjutan (Calisto Friant et al., 2024).

Keseluruhan dinamika program menunjukkan bahwa penguatan kapasitas berbasis pengalaman langsung berfungsi sebagai mekanisme transisi menuju praktik ekonomi sirkular. Kombinasi antara pembelajaran sosial dan inovasi teknologi mempercepat difusi praktik pengelolaan limbah berbasis energi (Rozkwitalska, 2021). Integrasi kapasitas teknis dan legitimasi sosial meningkatkan probabilitas keberlanjutan program komunitas (Bellamy, 2019). Implementasi teknologi lokal berbasis partisipasi memperkuat sistem ekonomi desa yang adaptif terhadap perubahan ekologis (World Bank, 2024). Model transisi berbasis komunitas ini memperlihatkan potensi replikasi dalam sistem sosial pedesaan dengan karakteristik serupa (UNEP, 2023).

KESIMPULAN

Penguatan kapasitas sumber daya manusia masyarakat desa melalui integrasi edukasi ekonomi sirkular, demonstrasi teknologi pirolisis, dan pembentukan kelembagaan lokal berbasis pengelolaan sampah menunjukkan terjadinya transformasi multidimensional yang mencakup aspek kognitif, perilaku, dan institusional secara simultan. Intervensi program berhasil mendorong rekonstruksi persepsi masyarakat terhadap limbah plastik dari beban ekologis menjadi sumber daya ekonomi potensial yang memiliki nilai energi alternatif, sekaligus meningkatkan kesiapan partisipatif dalam pengelolaan sampah berbasis teknologi. Peningkatan literasi teknis terhadap prinsip kerja konversi plastik menjadi bahan bakar berkontribusi pada terbentuknya kompetensi operasional komunitas yang mendukung implementasi sistem waste-to-energy skala desa secara berkelanjutan. Munculnya kelompok kerja pengelola sampah berbasis teknologi serta keterlibatan pemerintah desa memperkuat struktur tata kelola lokal dalam mendukung keberlanjutan praktik ekonomi sirkular. Kesadaran kolektif yang berkembang melalui forum diskusi dan demonstrasi teknologi menjadi modal sosial strategis dalam mempercepat adopsi inovasi lingkungan serta memperluas peluang integrasi energi alternatif dalam sistem ekonomi desa berbasis sumber daya residual.

DAFTAR PUSTAKA

- Ajzen, I. (2020). The theory of planned behavior: Frequently asked questions. *Human behavior and emerging technologies*, 2(4), 314-324. <https://doi.org/10.1002/hbe2.195>.
- Al-Salem, S. M., Antelava, A., Constantinou, A., Manos, G., & Dutta, A. (2017). A review on thermal and catalytic pyrolysis of plastic solid waste (PSW). *Journal of environmental management*, 197, 177-198. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.084>.
- Bamberg, S., & Möser, G. (2007). Twenty years after Hines, Hungerford, and Tomera: A new meta-analysis of psycho-social determinants of pro-environmental behaviour. *Journal of environmental psychology*, 27(1), 14-25. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2006.12.002>.
- Bellamy, R. (2019). Social readiness of adaptation technologies. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 10(6), e623. <https://doi.org/10.1002/wcc.623>.
- Bocken, N. M., & Antikainen, M. (2018, June). Circular business model experimentation: Concept and approaches. In *International conference on sustainable design and manufacturing* (pp. 239-250). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-04290-5_25.
- Calisto Friant, M., Vermeulen, W. J., & Salomone, R. (2024). Transition to a sustainable circular society: more than just resource efficiency. *Circular economy and sustainability*, 4(1), 23-42. <https://doi.org/10.1007/s43615-023-00272-3>.
- Dushkova, D., & Ivlieva, O. (2024). Empowering communities to act for a change: A review of the community empowerment programs towards sustainability and resilience. *Sustainability*, 16(19), 8700. <https://doi.org/10.3390/su16198700>.
- Ellyin, C., & Themelis, N. J. (2011, January). Small scale waste-to-energy technologies. In *North American Waste-to-Energy Conference* (Vol. 54570, pp. 169-176). <https://doi.org/10.1115/NAWTEC19-5447>.
- Fratini, C. F., Georg, S., & Jørgensen, M. S. (2019). Exploring circular economy imaginaries in European cities: A research agenda for the governance of urban sustainability transitions. *Journal of cleaner production*, 228, 974-989. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.193>.
- Godfrey, L. (2019). Waste plastic, the challenge facing developing countries ban it, change it, collect it?. *Recycling*, 4(1), 3. <https://doi.org/10.3390/recycling4010003>.
- IEA. (2023). Waste-to-energy and circular transition report. International Energy Agency.
- Ismail, I., Syam, A., Marhati, M., & MR, S. A. (2025). Community-Based Circular Economy Practices and Social Innovation: A Case Study from Bone Regency, Indonesia. *Jurnal Ilmiah Administrasi Publik dan Pemerintahan (JIAPP)*, 4(2), 97-107. <https://doi.org/10.31289/jiaap.v4i2.6481>.
- Kalra, N. (2019). Community participation and waste management. In *Sustainable Waste Management: Policies and Case Studies: 7th IconSWM—ISWMAW 2017, Volume 1* (pp. 115-123). Singapore: Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-7071-7_10.
- Mihai, F. C. (2023). Circular economy and sustainable rural development. *Sustainability*, 15(3), 2139. <https://doi.org/10.3390/su15032139>.

- Munir, M. T., Naqvi, M., & Li, B. (2024). A converging path: a decade's reflection on net zero emissions and the circular economy. *Frontiers in Energy Research*, 12, 1332174. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2024.1332174>.
- Rajesh Banu, J., & Godvin Sharmila, V. (2023). A systematic review on plastic waste conversion for a circular economy: recent trends and emerging technologies. *Catalysis Science & Technology*, 13(8), 2291-2302. <https://doi.org/10.1039/D2CY02066A>.
- Redman, E., & Redman, A. (2014). Transforming sustainable food and waste behaviors by realigning domains of knowledge in our education system. *Journal of cleaner production*, 64, 147-157. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.09.016>.
- Rozkwitalska, M. (2021). Social learning for energy transition A literature review. *Energies*, 14(24), 8531. <https://doi.org/10.3390/en14248531>.
- Tan, J., Tan, F. J., & Ramakrishna, S. (2022). Transitioning to a circular economy: A systematic review of its drivers and barriers. *Sustainability*, 14(3), 1757. <https://doi.org/10.3390/su14031757>.
- Tilbury, D., & Wortman, D. (2008). How is community education contributing to sustainability in practice?. *Applied Environmental education and communication*, 7(3), 83-93. <https://doi.org/10.1080/15330150802502171>.
- UNEP. (2023). Global waste management outlook 2023. United Nations Environment Programme.
- World Bank. (2024). Local circular economy implementation framework. World Bank Publications.
- Zaini, N., Kasmuri, N., Mojiri, A., Kindaichi, T., & Nayono, S. E. (2024). Plastic pollution and degradation pathways: A review on the treatment technologies. *Heliyon*, 10(7). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28849>.